N. Ioniță

ELEMENTE DE MECANICA AUTOMATELOR ȘI DINAMICA AUTOMATIZĂRII PROCESELOR INDUSTRIALE

EDITURA TEHNICĂ

Scanned with OKEN Scanner

dr. ing. NICOLAE IONIȚĂ

ELEMENTE DE MECANICA AUTOMATELOR ȘI DINAMICA AUTOMATIZĂRII PROCESELOR INDUSTRIALE

EDITURA TEHNICĂ BUCUREȘTI—1985

Scanned with OKEN Scanner

Recenzenți: acad. RADU VOINEA
dr. ing. ADRIAN MOANGĂ
Redactor: NATALIA FIUCIUC
Tehnoredactor: ELLY GORUN
Coperta: A. POPA

Bun de tipar: 28. 11. 1985; Coli tipo: 26,75.
C.Z.: 531/534 (076)

Tiparul executat sub comanda
nr. 466 la
Întreprinderea Poligrafică
„13 Decembrie 1918",
str. Grigore Alexandrescu nr. 89-97
București,
Republica Socialistă România

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

Prefață

Un imperativ al prezentului și deopotrivă al viitorului pentru țara noastră în trecerea de la dezvoltarea economică extensivă la cea intensivă a fost evidențiat cu fermitate de către tovarășul Nicolae Ceaușescu, secretar general al Partidului Comunist Român, cu ocazia aniversării a 20 de ani de la Congresul al IX-lea al partidului, previzionînd că „Omenirea se află în fața unei noi revoluții tehnico-științifice". Ca urmare, arăta secretarul general al partidului cu acest prilej „dacă nu ne vom angaja cu toată hotărîrea pe calea noii revoluții tehnico-științifice, vom rămîne în urmă în întreaga dezvoltare economico-socială, cu repercursiuni grave pentru întregul proces revoluționar de făurire a noii orînduiri sociale, de ridicare a bunăstării poporului, de întărire a patriei noastre, a independenței sale".

Esența noii revoluții științifico-tehnice este reprezentată de necesitatea automatizării în continuare a tuturor proceselor de producție precum și a conducerii acestor procese. Ritmul și amploarea realizării progresului nu mai este determinat atît de automatizare ca fenomen tehnic (care s-a realizat industrial încă din deceniile precedente), ci de dinamica automatizării, *de extinderea în toate ramurile economice și de pătrundere a acesteia în domeniul producției de loturi, a seriilor mici și mijlocii. Acest ultim aspect constituie o particularitate a noii revoluții științifico-tehnice contemporane în ramura industriei constructoare de mașini, atît din țara noastră cît și din străinătate, deoarece fabricația de serie mică și mijlocie deține o pondere de circa 60—70% din totalul producției. Automatizarea în acest important domeniu, spre deosebire de producția de serie mare și de masă, este caracterizată de necesitatea integrării calculatoarelor electronice și a roboților industriali în tehnica proceselor de producție, iar din punct de vedere organizatoric de abandonarea organizării tehnologice tradiționale bazate pe ceea ce s-a numit „specializare proces" și trecerea la așa numita „specializare produs".*

Studiul mecanicii automatelor și a dinamicii automatizării proceselor industriale, în acest nou context, a devenit un domeniu de cercetare științi-

fică interdisciplinară în care sînt angrenați un număr tot mai însemnat de oameni de știință din diferite domenii de activitate.

Lucrarea elaborată de către conf. dr. ing. N. Ioniță constituie un eveniment de larg interes științific atît pentru cercetătorii și inginerii din domeniul construcțiilor de mașini, cît și pentru cadrele didactice și studenții din învățămîntul tehnic și economic superior.

Conținutul lucrării este structurat în două părți: A) Elemente de mecanica automatelor și B) Evoluția automatizării proceselor industriale în direcția creșterii performanțelor de flexibilitate și de progres tehnologic.

În prima parte, după ce se dă definiția roboților industriali și se prezintă o clasificare a acestora, se tratează pe larg problema analizei și sintezei cinematice, dinamice și de comandă.

Urmărind ideea găsirii posibilităților de implementare în timp real a unor structuri de comandă care utilizează modelul dinamic, autorul apelează la formalismul Newton-Euler, formalism care conduce la generarea unor relații iterative în calculul parametrilor cinematici și a forțelor aferente structurii mecanice. În continuare, se ajunge la dezvoltarea unor programe specifice de simulare numerică pe calculatoare electronice de mică capacitate pentru controlul și sinteza structurilor de manipulare automată ale roboților industriali. Pentru comparație, autorul prezintă, de asemenea, formalismul Lagrange în metodele de modelare, subliniind importanța acestuia în domeniul activității de proiectare asistată de calculator a roboților.

În partea a doua a lucrării, după ce definește conceptul de „flexibilitate", arătînd necesitatea impunerii lui datorită, pe de o parte, cerinței fundamentate de creștere a productivității muncii iar, pe de altă parte, a diversificării, ca trăsătură fundamentală a producției contemporane, autorul indică unele criterii de evaluare a capacității productive și a flexibilității roboților industriali. Sînt prezentate apoi în continuare principalele etape de trecere de la tehnologiile clasice, tradiționale, la tehnologiile moderne aplicînd din plin mijloacele moderne, microprocesoarele și programarea (software).

O pondere importantă în această parte a lucrării este rezervată problematicii sistemelor flexibile de prelucrare prin așchiere cu referiri concrete la situația pe plan mondial și în țara noastră, mergînd pînă la ceea ce autorul definește sintetic „marcizare" (mecanizarea, automatizarea, robotizarea și cibernetizarea) a unor sectoare din construcția de mașini.

Apreciem că lucrarea reprezintă o reușită sinteză a informațiilor științifice publicate pe plan mondial și a unor contribuții originale, de strîngentă actualitate în condițiile realizării Planului național de sisteme flexibile de prelucrare prin așchiere și de deformare la rece a metalelor (1985—1990) în industria constructoare de mașini.

DUMITRU ION MANGERON
Om de știință emerit al Republicii Socialiste România

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

Cuvînt introductiv

Prima parte a lucrării de față, intitulată „Elemente de mecanica automatelor", efectuează un studiu de sinteză a informațiilor științifice și a unor contribuții originale în domeniul cercetării roboților industriali, care pe scara evolutivă a treptelor de automatizare (tabelul 1.1) sînt clasificați la nivelurile cele mai avansate.

Etimologia cuvîntului „robot" este incertă, ea putînd fi apropiată de aceea a cuvîntului „robota"—„muncă" în limba cehă, a corespondentului românesc „rob" sau a cuvîntului rusesc „rab" cu semnificația de „sclav".

Semantica acestor cuvinte sugerează echipamente ce pot executa gesturi specifice omului (realizate cu brațele, mîinile, picioarele) sub coordonare biologică „ochi-mînă" (operații umanoide).

În limbajul curent noțiunea de „robot" a fost introdusă pentru prima oară de scriitorul ceh Karel Čapek în piesa „R.U.R." („Rossumt's Universal Robots"), dramă utopică apărută în anul 1932.

De la acea dată cuvîntul robot a trecut neschimbat în toate limbile pentru a desemna personaje umanoide, protagoniste ale povestirilor științifico-fantastice.

Prin dezvoltarea explozivă a tehnicii roboților în zilele noastre, noțiunea de robot a depășit cu mult limitele acestei semnificații, robotizarea ajungînd astăzi să reprezinte o măsură a gradului de automatizare flexibilă și cibernetizare industrială a unei țări.

De la rob pînă la robot au trecut cîteva mii de ani în care omul, luptînd pentru asigurarea existenței sale, a căutat continuu un „semen" care să-l elibereze în activitatea productivă de muncile grele și de rutină, pentru a se dedica în exclusivitate unei activități de creație și supraveghere, pe măsura adevăratelor sale posibilități. Dinamica dezvoltării actuale a roboților industriali îl apropie cu pași siguri de acest vis milenar.

Cu toate rezultatele deosebite obținute în acest nou domeniu al tehnicii, se constată că pînă în prezent nu s-a cristalizat o definiție uni-

tară și stabilă a termenului de robot. Astfel, acceptîndu-se un sens larg al cuvîntului, au fost incluse în categoria roboților (denumiți în dicționarul de neologisme „automate care pot îndeplini lucrări complicate asemănătoare celor efectuate de oameni") o gamă largă de sisteme tehnice, cum sînt: unele jucării cibernetice, manipulatoare de copiat, sisteme tehnice de traduceri cu ajutorul calculatoarelor electronice etc.

Prin alăturarea adjectivului „industrial", noul termen de „robot industrial" a căpătat o semnificație mai precisă în limbajul tehnic. Cu toate acestea, nici în definirea acestui concept nu există un consens unanim acceptat.

Dificultățile întîmpinate în stabilirea unei definiții unitare sînt explicate, în bună măsură, de întrepătrunderea sferelor de cuprindere a noțiunilor de mecanizare, automatizare, robotizare și cibernetizare. Interferența inevitabilă dintre aceste noțiuni, într-o măsură mai mare sau mai mică, îngreunează delimitarea exactă pe scară ierarhică a treptelor de automatizare specifice fiecărei instalații tehnologice în parte.

În literatura științifică se întîlnesc unele publicații de specialitate [8] care definesc roboții industriali ca fiind manipulatoare automate cu comandă program ce pot fi împărțite, după caracterul operațiilor ce le execută, în trei grupe și anume:

— *roboți industriali de producție (RIP)*, care iau parte nemijlocit la procesul de producție, ca mașini de lucru;

— *roboți industriali pentru ridicat și transportat (RIRT)*, care efectuează operații de alimentare automată a utilajelor tehnologice de bază și operații de transport și depozitare;

— *roboți industriali universali (RIU)*, cu o largă destinație tehnologică, reunind însușirile celor două categorii de mai sus, RIP și respectiv RIRT.

Prin urmare, din definițiile și clasificarea menționată rezultă că acțiunea de robotizare industrială implică, după caz, substituirea unor atribute specifice mecanizării (prin efectuarea de către roboți a unui lucru mecanic util), iar prin realizarea de operații umanoide și executarea unor funcții de comandă preluate de la operatorul uman (prin utilizarea unor sisteme informaționale) pătrunde implicit în sfera de cuprindere a automatizării și cibernetizării. (v. cap. 10).

Interferența dintre aceste concepte a mers pînă acolo încît profesorul G. R. Boulanger [88, 85] este de părere că cibernetica poate fi definită ca o știință a roboților, a acelor mașini care caută să imite viața. Clarificările aduse de Ștefan Odobleja [88], cu privire la conceptul de cibernetică generală și la raporturile acesteia cu ciberneticile particulare, pun în evidență caracterul limitat al definiției date de Boulanger conceptului de cibernetică. Un fapt pare a fi sigur, și anume că, din acest punct de vedere, robotica înregistrează o istorie

Scanned with OKEN Scanner

asemănătoare cu aceea a ciberneticii, pentru care nu există o definiție unanim acceptată nici pînă în prezent.

Pentru evaluarea performanțelor globale ale instalațiilor tehnologice complexe, în condițiile în care nu poate fi delimitată distinct fiecare problemă de mecanizare, automatizare, robotizare respectiv cibernetizare, în lucrarea de față se va folosi termenul prescurtat de MARC (*marcizare*) alcătuit din inițialele acestor concepte. Introducerea acestui termen asigură totodată o mai ușoară exprimare și descriere a fazelor evolutive ale proceselor tehnologice.

În ultima vreme în țara noastră au apărut lucrări de specialitate care aduc noi contribuții de clarificare în domeniul roboticii.

În accepțiunea actuală a specialiștilor [107] se definesc *manipulatoarele* ca fiind mecanisme cu trei-patru grade de mobilitate, caracterizate printr-un ciclu de funcționare rigid definit de limitatoare de cursă reglabile. Datorită programării rigide, manipulatoarele se folosesc cu precădere în linii automate de producție de serie mare. În acest caz, schimbarea produsului sau a procesului tehnologic conduc implicit la reconsiderarea întregului sistem.

Robotul industrial cu *programare flexibilă*, spre deosebire de manipulatoare, este definit ca reprezentînd un sistem multifuncțional, conceput ca prin mișcări programate și controlate continuu să efectueze un lucru mecanic util prin îndeplinirea unei game variate de sarcini într-un anumit proces tehnologic. Aceste caracteristici permit ca, la schimbări ale tipului constructiv de piese, sau a modificării procesului tehnologic, să nu se restructureze întregul sistem, problema rezolvîndu-se prin reprogramarea roboților și modificări minime ale sistemului. Prin caracteristica de flexibilitate, utilizarea roboților devine eficientă în producția de serie mică și mijlocie, la care utilizarea manipulatoarelor nu este economică datorită unui număr relativ mare de intervenți pentru efectuarea unor programări costisitoare.

Adaptarea ușoară la modificarea tipului de obiect manipulat (flexibilitate în timp) sau a traiectoriei mișcării (flexibilitate în spațiu) fac ca roboții industriali să fie utilizați în automatizarea unei game largi de operații tehnologice din cele mai variate procese industriale.

În lucrarea [40] se consideră robotul industrial ca fiind compus dintr-un manipulator articulat (braț artificial) + senzori (traductori) + programe + calculator electronic. Acestor elemente li se adaugă procesul de antrenare (învățare) prin diferite metode (conversație prin display, prin voce etc.).

În lucrarea [26] robotul industrial este definit ca un dispozitiv programabil, capabil să execute automat succesiuni variate de operații de manipulare, în cadrul unor sisteme de fabricație.

Scanned with OKEN Scanner

Prin urmare, după criteriul de utilizare, într-o concepție sistemică, robotul industrial integrat într-un sistem de producție poate fi considerat ca un element programabil de MARC ce execută o succesiune variabilă de operații tehnologice în cadrul unui sistem logistic de fabricație, care poate realiza, pe o anumită treaptă de automatizare, un program propriu de autoinstruire.

Definirea roboților industriali ca automate universale, dotate cu capacitate proprie de percepere și interpretare a semnalelor din mediul exterior, folosite pentru execuția acțiunilor mecanice, întîlnită în unele lucrări de specialitate [8], constituie o definiție sintetică ce pune în evidență detașarea netă a acestor noi grupe de mașini de tot ce s-a creat pînă în prezent în domeniul tehnic.

În raport de cele arătate mai înainte, în condițiile lipsei unei definiții stabile, se pot reține ca făcînd parte din *însușirile unui robot industrial* următoarele elemente caracteristice:

— posibilitatea executării unor operații tehnologice diferite, într-o succesiune variabilă;

— înzestrarea cu un număr de grade de mobilitate, controlabile independent de către o structură de comandă, care să-i permită executarea unor operații de complexitate variabilă;

— însușirea de a funcționa automat, în sensul de a nu fi necesară intervenția omului în timpul activității productive;

— dotarea cu o capacitate logică pentru a se putea încadra într-un sistem logistic de corelare a fluxurilor de informații, de bunuri materiale și persoane care concură la realizarea unui anumit proces de fabricație industrială;

— capacitatea de a realiza, la un anumit nivel de perfecționare, procesul de adaptare, pentru a putea să funcționeze în condiții neprevăzute de om aprioric, precum și procesul de autoinstruire ce-i permite să-și perfecționeze activitatea pe baza propriei experiențe.

Toate aceste elemente vor fi trecute în revistă în cartea de față, a cărei apariție a fost posibilă și datorită sprijinului primit din partea acad. Radu Voinea, care a efectuat controlul științific al lucrării, a prof. dr. doc. Dumitru Mangeron, care a fost tot timpul alături de autor, permițîndu-i și accesul la biblioteca personală, precum și a dr. ing. Adrian Moangă, ale cărui observații competente pe manuscris au condus la definitivarea lucrării.

AUTORUL

Scanned with OKEN Scanner

A. ELEMENTE DE MECANICA AUTOMATELOR

Capitolul 1

CLASIFICAREA ROBOŢILOR INDUSTRIALI

1.1. CLASIFICAREA ROBOŢILOR

Diversificarea constructivă și funcțională a roboților din ultimele decenii a condus la necesitatea întocmirii unei clasificări după diferite criterii, fără însă ca acestea să poată fi riguros independente între ele. Astfel de clasificări au fost întocmite după domenii de utilizare, arhitectură constructivă, sistemul de comandă etc.

a) **Clasificarea roboților industriali pe generații.** Un interes aparte îl reprezintă clasificarea roboților pe generații, deoarece folosește drept criteriu de bază una dintre trăsăturile specifice ale acestui nou tip de mașini și anume capacitatea de percepere și interpretare a semnalelor din mediul exterior, precum și de adaptare la mediu în timpul procesului de lucru.

Din acest punct de vedere roboții industriali sînt grupați pe generații 0, 1, 2 și 3. Datorită însă greutăților întîmpinate în departajarea celor patru generații, această clasificare este adesea nuanțată prin referiri la generațiile 1,5 și 2,5.

Caracteristicile principale ale generațiilor de roboți sînt următoarele:

Roboții din generația „zero" sînt reprezentați de manipulatoarele simple, care pot executa o succesiune de operații fixe, predeterminate.

Scanned with OKEN Scanner

Acestea au cîteva grade de mobilitate rigid programabile. Din această cauză, literatura de specialitate nu include roboții din generația „zero" în categoria roboților propriu-ziși.

Roboții primei generații sînt roboți programabili, cu comandă în „buclă deschisă" față de mediul de lucru (nu primesc semnale de reacție de la senzori externi). Sînt utilizați în aplicații simple care nu necesită o adaptare la mediu, ca de exemplu în operații de vopsire, sudură, turnare, manipulări grosiere etc. Uneori pot fi prevăzuți cu senzori simpli ce le permit să lucreze în „buclă închisă" cu un grad de adaptare redus. În acest caz ei pot fi utilizați și pentru unele operații simple de asamblare (piesele manipulate de robot trebuie orientate în prealabil, într-o poziție convenabilă, pentru a putea fi manipulate).

Noile tipuri de roboți din această generație sînt prevăzuți cu comandă numerică și pot fi comandați direct de către un calculator.

Roboții generației a doua sînt roboți prevăzuți cu senzori tactili, de forță, de proximitate, camere TV etc. Aceștia furnizează informații privind starea mediului înconjurător, realizînd pe această bază o anumită autonomie de orientare în mediul în care lucrează. Ei sînt roboți care realizează coordonarea ochi-mînă, cu posibilități largi de modificare a succesiunii mișcărilor de lucru (prin sistem de comandă în „buclă închisă"), care nu impun deci o cunoaștere apriorică exactă a coordonatelor de poziționare a obiectelor de lucru. Prin urmare, piesele manipulate nu mai trebuie orientate în prealabil, deoarece mișcarea organelor de lucru ale robotului se realizează în funcție de situația reală dată, obținîndu-se o adaptivitate ridicată.

Roboții din generația a treia sînt dotați cu senzori complecși și utilizează elemente de inteligență artificială. Se detașează de generațiile anterioare printr-un grad înalt de decizie și planificare, realizînd procese logice, complexe, în vederea unei rapide adaptări la o diversitate de activități și eventual pentru o autoinstruire. Ei sînt capabili să recunoască obiecte în spațiu și să ia anumite decizii în procese complicate, cum ar fi operațiile de asamblare și montaj. Datorită capacității de orientare și de decizie ridicată pot primi un program de sarcini întocmai ca și omul într-o formă generală.

Marea majoritate a roboților industriali folosiți în prezent sînt din generația 1 și rareori din generația 2.

b) *Clasificarea roboților industriali în funcție de scara evolutivă a treptelor de automatizare.* O evaluare a performanțelor funcționale ale roboților industriali poate fi făcută în raport cu scara evolutivă a treptelor de automatizare din tabelul 1.1, elaborată de Stanford Research Institute (S.U.A.) [26].

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 1.1

Ierarhizarea treptelor evolutive de automatizare

Sursa de informații	Energia	Treapta	Descriere
Mediul exterior		10	Mașină care se autoperfecționează
		9	Mașină care își adaptează programul (adoptă programe diferite în funcție de împrejurări)
	Mecanică	8	Mașină care își corectează programul în funcție de condițiile de lucru (MU cu comandă adaptativă)
Program variabil (programabilitate)	Electrică	7	Mașină universală programabilă (sistem sau centru de prelucrare cu CN, robot industrial nivel II)
	Hidraulică	6	Mașină monooperație programabilă (MU cu CN; robot industrial nivel I)
Program fix	Pneumatică	5	Mașină automată pentru operații multiple (strung automat; automat de montaj flexibil; manipulator)
		4	Mașină automată monooperație (automat de montaj rigid, linie transfer rigidă)
Om	Manuală	3	Sculă mecanizată sau mașină comandată manual (teleoperator)
		2	Sculă de mînă
		1	Mînă

Scanned with OKEN Scanner

Ţinînd seama de faptul că problema esenţială în delimitarea treptelor de automatizare o reprezintă aportul pe care îl are omul în procesul muncii, această scară este crescătoare în funcţie de nivelul la care sistemul tehnic considerat poate înlocui funcţiunile musculare, senzoriale şi intelectuale ale omului, pentru fiecare fază în parte.

Clasificarea poate fi împărţită în patru subgrupe principale. Prima subgrupă cuprinde treptele 1, 2 şi 3 de automatizare şi caracterizează sistemele *comandate nemijlocit de către om* sau prin intermediul cărora omul cedează energia mecanică necesară din însăşi forţa sa musculară. Este evident că şi procesul de conducere se manifestă prin acelaşi „canal energetic". Nivelul 3, cel mai perfecţionat, corespunde din punct de vedere al roboticii cu sistemele tehnice teleoperator („telechirics"). Un astfel de „telechir" reprezintă o maşină comandată direct de către om de la un panou vizual, aflat la distanţă, de unde se acţionează cu o forţă şi o sensibilitate amplificată prin intermediul unor mijloace informaţionale şi energetice.

A doua subgrupă aflată pe scară evolutivă (treptele 4 şi 5) reprezintă sistemele tehnice dotate cu un *program de mişcare fix* pentru una, respectiv mai multe operaţii. În această categorie sînt încadrate automatele de montaj şi liniile de transfer rigide. Prin asimilare, din punct de vedere al nivelului de automatizare, pot fi înscrişi în această subgrupă roboţii industriali de grad „zero".

A treia subgrupă constituită din treptele 6 şi 7, cuprinde sistemele tehnice „programabile" în sensul de a putea să execute *succesiuni diferite de mişcări de lucru în raport de modul cum* a fost concepută programarea.

Treapta 6 corespunde sistemelor automate la nivelul maşinilor-unelte cu comandă numerică şi a roboţilor industriali de „nivelul I", iar treapta 7 centrelor de prelucrare şi roboţilor industriali de „nivelul II".

Clasele de la 8 în sus din cea de a patra subgrupă au în vedere scara ierarhică a sistemele automate adaptive.

Din analiza clasificării nivelelor de automatizare rezultă că sistemele tehnice flexibile ocupă treptele superioare. La bază sînt incluse sistemele conduse de om, iar treapta cea mai înaltă (10) cuprinde maşinile care se autoperfecţionează.

În conformitate cu ierarhizarea treptelor evolutive de automatizare în tabelul 1.2 se redă o clasificare a roboţilor pe nivelele corespunzătoare de automatizare. Roboţii industriali se situează, faţă de scara evolutivă din tabelul 1.1, pe treptele de la 6 în sus (vezi şi fig. 1.1—1.10).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 1.2

Clasificarea roboților industriali în funcție de nivelul de automatizare

Caracteristica	Nivelul I	Nivelul II	Nivelul III
Efectuarea mișcărilor	Pas cu pas	Pas cu pas sau conturare	Pas cu pas și conturare
Controlul pozițiilor	Limitatoare de poziții	Poziționarea numerică sau analogică	Complex
Capacitatea memoriei	Un singur program: zeci de pași	Mai multe programe: mii de pași	Nelimitată
Modul de programare	Reglajul limitatoarelor: matrice cu jocuri	Play-back: bandă sau disc magnetic	Cu calculatorul
Legătura cu exteriorul	Interblocări și sincronizări între robotul industrial și poziția corectă a unor piese, scule, dispozitive: comenzile mașinilor deservite	La fel ca la nivelul I; în plus senzorii tactili și vizuali elementari (tot-nimic) ca, de exemplu, celule fotoelectrice, palpatori	Senzori tactili și vizuali complecși de exemplu, camera TV
Capacitatea de decizie	Nu avansează decît dacă sînt îndeplinite condițiile de interblocare și sincronizare programate	La fel ca la nivelul I; în plus capabil să ocolească obstacole, să aleagă obiecte în funcție de contur, masă, rugozitate prin traductori și dispozitive de apucare special adaptate	Caută obiecte împrăștiate Alege obiectele în funcție de un complex de caracteristici Așază obiectele în poziția corectă Alege ordinea operațiilor pe baza desenului de montaj. Alege traiectoriile optime

Scanned with OKEN Scanner

1.2. ELEMENTE PRIVIND ARHITECTURA GENERALĂ ȘI STRUCTURA ANTROPOMORFĂ A ROBOȚILOR

a) **Arhitectura generală a roboților și principiul convergenței formelor.** În ultima vreme termenul de arhitectură a depășit cu mult granițele construcțiilor, domeniu ce l-a consacrat definitiv în limbaj curent. Extinzîndu-se mai apoi la calculatoare electronice, în prezent se folosește în cele mai variate discipline ca un mod de exprimare flexibilă a înțelegerii largi a diferitelor aspecte ale realității în strînsă concordanță cu diferitele nivele de dezvoltare ale științei, artei sau culturii. Astfel, se vorbește despre arhitectura economiei, arhitectura matematicii, arhitectura logică, arhitectura culturii, arhitectura limbajului etc.

În ceea ce privește sistemele tehnice, conceptul de arhitectură cuprinde în sfera sa semnificația reprezentării tuturor funcțiunilor sale externe privite din afara sistemului.

Analizînd roboții ca sisteme tehnice, termenul de arhitectura roboților reflectă, deci, nu numai configurația geometrică a structurii mecanice, dar și structura de funcțiuni a acestora, văzută din afara sistemului respectiv.

Imaginația de anticipație a lui Karel Čapek a creat roboți așa cum ne închipuim cu toții că ar trebui să arate: asemănători conformației omului, dar cu capacități „intelectuale" și fizice mult mai amplificate.

Evoluția dezvoltării roboților construiți de către om, folosind înțelesul larg al cuvîntului, consemnează însă o mare varietate de forme și utilizări, aflate pe trepte de dezvoltare dintre cele mai diferite. Unii dintre aceștia au o structură umanoidă, alții, dimpotrivă, au forme specifice, adaptate realizării unor sarcini particulare.

Una dintre problemele importante ale roboticii — știință cu caracter interdisciplinar, situată la răscrucea a cel puțin cinci științe, cum sînt: mecanica, automatica, informatica, bionica și ergonomia — o constituie nu numai găsirea celor mai corespunzătoare soluții constructive, dar și aceea de optimizare a performanțelor obținute de roboți.

Analiza tehnico-economică bazată pe ansamblul criteriilor de performanță, cum ar fi nivelul de amplificare a forței, gradul de simulare a funcțiunilor de inteligență, sensibilitatea la diferite medii etc., conduce la necesitatea realizării unor structuri optime care să răspundă în mod eficient la condițiile de lucru impuse.

Pentru roboții speciali, care lucrează în medii deosebite, multe din soluțiile constructive adoptate sînt inspirate din „patentele naturii".

Este cunoscut că soluțiile adoptate de natura înconjurătoare în evoluția filogenetică a organismelor vii s-au dovedit a fi, nu o dată,

Scanned with OKEN Scanner

cele mai bune soluții imaginabile în raport cu gradul de dezvoltare al tehnicii la un moment dat. Dealtfel, investigarea metodică a organizării biologice, în scopul preluării în tehnică a principiilor corespunzătoare, constituie în prezent obiectul unei ramuri științifice aparte — bionica, considerată ca fiind o știință desprinsă din trunchiul cibernetici. Astăzi ne apare foarte clar asemănarea dintre comportarea automatelor moderne și cea a organismelor vii.

Cibernetica nu pune semnul egal între sistemul biologic și sistemele tehnice automate, însă ea reușește să stabilească anumite principii comune, valabile în reglarea proceselor din ambele tipuri de sisteme. Un exemplu semnificativ în această privință îl reprezintă analogia existentă între procesele homeostatice, proprii organismelor vii, și procesele de autoreglare, proprii sistemelor tehnice automate. Această similitudine explică orientarea unor cercetări actuale în direcția studierii relației reciproce existente între funcțiile de recepție și cele de execuție la om, precum și asupra organizării specifice a sistemului nervos, rezultat al adaptărilor filogenetice (reflexele, memoria, deprinderi etc.).

La noi în țară ideea legată de tendința permanentă a organismelor vii de a se izola de variațiile cantitative ale factorilor de mediu și a creării în interiorul corpului a unor valori constante, care se contrapun acestor variații, a fost urmărită sistematic de-a lungul anilor de academicianul Eugen A. Pora.

În condițiile amplificării pe plan mondial a studiului analogiilor dintre lumea vie și nevie, în scopul preluării în tehnică a principiilor ce stau la baza organizării sistemelor biologice, pentru robotică și pentru tehnică în general revine în actualitate un principiu mai vechi cunoscut în zoologie sub denumirea *„principiul convergenței formelor"*.

Potrivit acestui principiu, dacă două ființe trebuie să îndeplinească aceleași funcțiuni, în același mediu, ele tind să ia forme similare. Pe această linie se înscrie evoluția multor specii de animale. În acest sens exemplificăm evoluția unor specii de moluște, crustacee și numeroase ființe marine, care, pentru a rezista la loviturile puternice ale valurilor, fără a fi smulse de pe stîncă, au cochilii cu format asemănător unui trunchi de con, cu suprafața mare de la bază, în contact cu stînca, față de care prezintă o aderență puternică. În acest mod se opune rezistență mică valurilor, datorită suprafeței de contact reduse la partea superioară a corpului.

Este de remarcat faptul că dacă progresul tehnic în direcția imitării unor funcții biologice, cît mai diverse și într-un mod cît se poate de variat, a înregistrat pînă în zilele noastre ritmuri relativ lente de dezvoltare, aceasta se datorește, în primul rînd, marilor dificultăți întîmpinate de om în imitarea elementelor de comandă ale organis-

Scanned with OKEN Scanner

mului biologic, caracterizate printr-un număr mare de conexiuni directe și inverse pe care le implică. Învingerea acestor dificultăți s-a datorat ingeniozității omului de a recurge la abstractizări dintre cele mai variate și la o „geometrizare" a tehnicii, evitînd pe această cale reglajele complicate ale modelelor biologice. Așa se explică apariția roții ca sistem tehnic de propulsare dominant în tehnica mijloacelor de locomoție.

Raportîndu-ne la construcția roboților industriali, în sensul larg al cuvîntului, se observă că evoluția arhitecturii generale a acestora, din punct de vedere al imitării unor modele din natură, prezintă pe ansamblu tendința unui caracter antropomorf mai pronunțat decît al celorlalte sisteme tehnice create de om pînă în prezent. Studii privind asemănărea dintre om, manipulatoare și robot au condus la folosirea în limbajul curent a termenului de „antropomorfism", ce provine din limba greacă, cu semnificația de „formă umană" (*anthropos*-uman și *morphe*-formă).

Din punct de vedere al arhitecturii roboților, denumirea de antropomorf are în vedere nu numai asemănările în sens anatomic, bazate pe forme, dar și cele funcționale, observabile din afara sistemului.

Studii relativ recente din domeniul bionicii stabilesc, prin alcătuirea unor modele matematice, posibilitatea unei evaluări cantitative a caracterului de antropomorfism a unui robot sau manipulator. Astfel, pentru sistemul de mișcare se stabilește, pe bază de calcule analitice, valoarea diferiților coeficienți antropomorfi pe tipuri de activități ca: manipularea cu unul sau două brațe, locomoția bipedă sau mișcarea generală, sisteme de control etc.

Din publicațiile de specialitate rezultă că pînă în prezent există un număr mare de firme producătoare care fabrică cîteva sute de tipuri de roboți industriali cu coeficient de antropomorfism diferit, ceea ce necesită o analiză a arhitecturii generale a acestora în raport de performanțele obținute în exploatare și soluții constructive adoptate. O clasificare a roboților industriali [63] avînd la bază caracterul arhitectural (tabelul 1.3) evidențiază un număr de 8 tipuri caracteristice, fără însă a cuprinde clasa roboților specializați la care ne vom referi în continuare la pct. b.

Performanțele obținute de cele 8 tipuri constructive de roboți sînt apreciate prin valoarea următorilor parametrii globali de analiză:

— parametrul privind suplețea și eficiența intervenției în mediul de lucru

$$K_1 = \frac{V}{G} \quad \left[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{N}}\right] \tag{1.1}$$

Tabelul 1.3

Clasificarea roboților

Nr. crt.	Tipul constructiv	Caracteristicile de bază	Domeniul de folosire	Exemple
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Braț articulat (BA).	Structură compusă din lanț cinematic deschis, folosind cu precădere cuple de rotație. Rigiditatea structurii relativ scăzută este compensată printr-o mare suplețe și o bună accesibilitate a dispozitivului de prehensiune la obiectul de manipulat. Sistem de acționare electric.	Sudare, vopsire, metalizare montaj etc.	Puma (fig. 1.1) — firma UNIMATE (S.U.A.). 6CH Arm (fig.1.2) — firma CINCINATI (S.U.A.).
2	Lanț închis (LI).	Structura mecanismului generator de traiectorie este un contur poligonal închis, ceea ce îi asigură o rigiditate a structurii mecanice mult mai ridicată decît a roboților tip BA. Sistem de acționare electric.	Sudare, vopsire, metalizare, montaj, prese și ciocane de forjă, manipularea de sarcini în depozite etc.	Schlater HDS36 (R.F.G.) (fig. 1.3) Trallfa (Norvegia).
3	Pistol (P).	Structura mecanică compusă dintr-un corp central ce poartă un braț asemănător unei țevi de pistol de lungime variabilă și care poate să-și schimbe direcția. Sînt acționați pneumatic, hidraulic și mai rar electric.	Manipularea pieselor pentru deservirea mașinilor-unelte și a preselor de ștanțare-ambutisare.	MHU Senior (fig.1.4) Suedia Universal-5 (U.R.S.S) Star-o-mat (R.F.G.).
4	Turelă (T).	Construcție asemănătoare cu tipul P, cu deosebirea că între corpul central și braț este interpus un subansamblu de forma unei turele ce permite un grad de mobilitate în plus. Majoritatea sînt acționați hidraulic.	Aplicabilitate universală	Unimate 1000 (S.U.A.) (fig. 1.5) CR 2005F (R.F.G.). Kawasaki (Japonia)

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 1.3 (continuare)

1	2	3	4	5
5	Coloană (C).	Constructiv se deosebește de tipul P și tipul T, prin faptul că brațul este purtat de o coloană verticală care-i asigură o mișcare de translație după aceeași direcție.	Cu precădere la operații de sudare.	Sirobot (R.F.G.) (fig. 1.6). Sciaky (Franța Anglia, R.F.G.), (fig. 1.7).
6	Cadru (CD).	Structura mecanică în plan vertical este alcătuită de un cadru care îi asigură o rigiditate mai mare coloanei verticale.	Diferite operații tehnologice pentru piese relativ grele.	Fanuc (Japonia). (fig. 1.8) JOB'OT (Italia).
7	Portal (PO).	Structură solidă, construită dintr-un cadru metalic, care permite manipularea pieselor grele într-un spațiu de lucru de dimensiuni mari.	Manipularea elementelor de autoturisme.	Robot typ 80 Portique (Franța) (fig. 1.9). Double Portique (Franța).
8	Cărucior (CA).	Sînt roboți mobili montați pe șasiuri sau cărucioare care acoperă un spațiu mare de lucru.	Aplicabilitate universală	MP9 (U.R.S.S.) (fig. 1.10.).

Scanned with OKEN Scanner

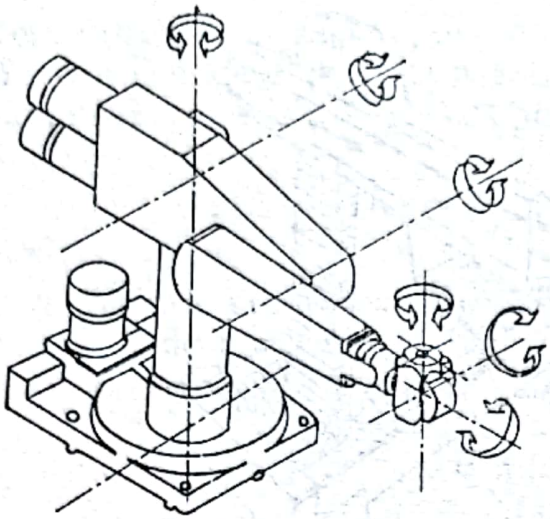


Fig. 1.1. Robotul „Puma"

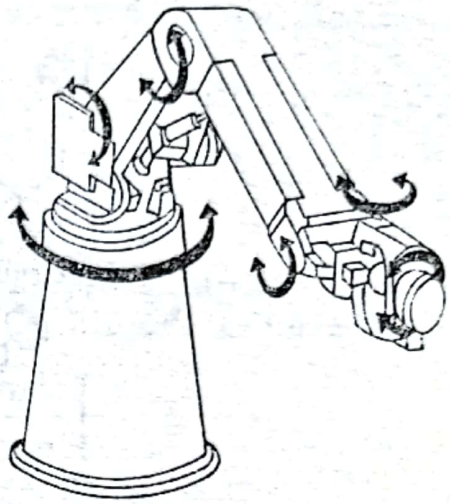


Fig. 1.2. Robotul „6CH Arm"

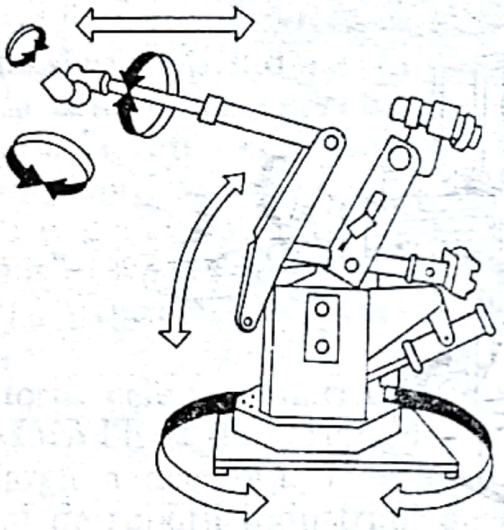


Fig. 1.3. Robotul „Schlater HDS 36"

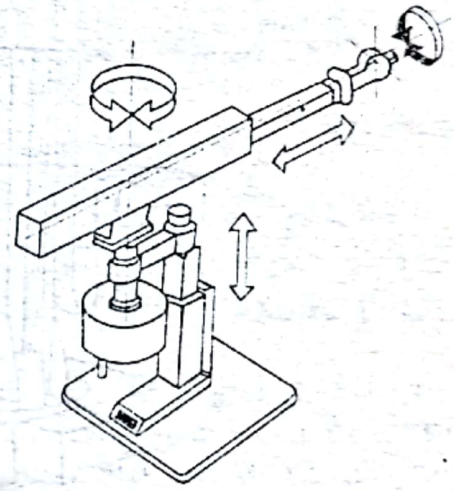


Fig. 1.4. Robot tip „MHU Senior"

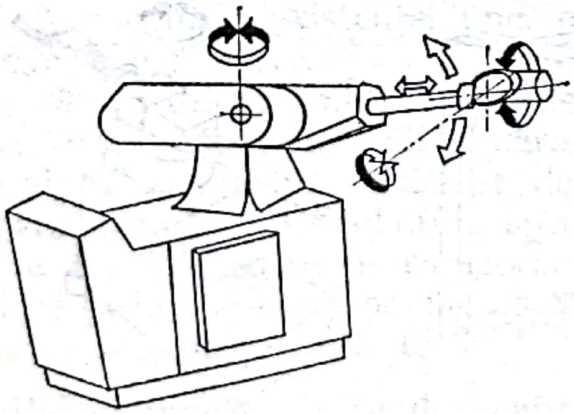


Fig. 1.5. Robotul „Unimate 1000"

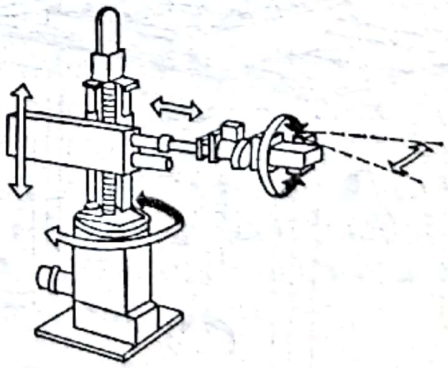


Fig. 1.6. Robotul „Sirobot"

Scanned with OKEN Scanner

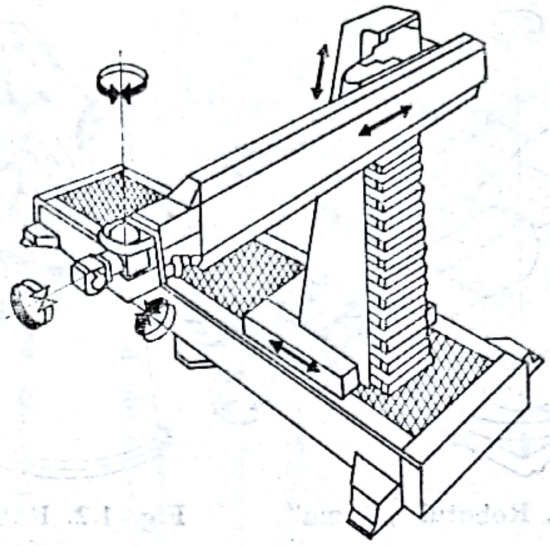


Fig. 1.7. Robotul „Sciaky"

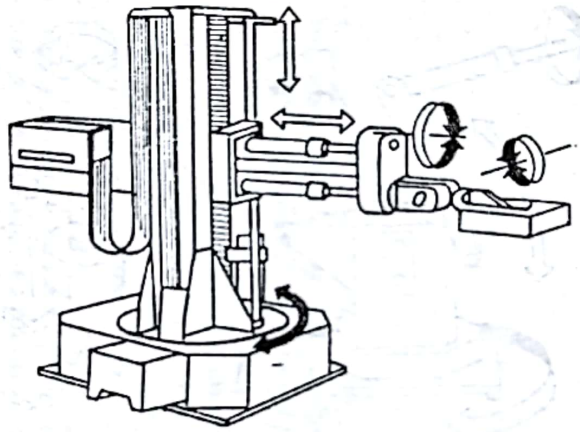


Fig. 1.8. Robotul „Fanuc"

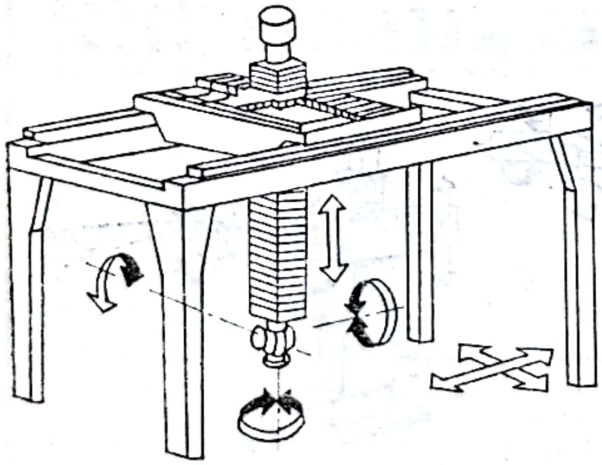


Fig. 1.9. Robot „Typ 80 Portique"

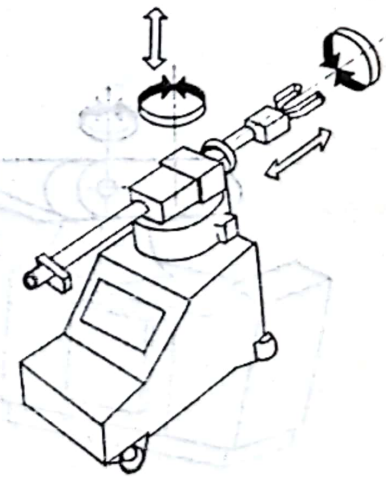


Fig. 1.10. Robotul „MP9"

Scanned with OKEN Scanner

în care V reprezintă volumul spațiilor de lucru și G greutatea robotului industrial în condiții de funcționare sau de serviciu;

— parametrul capacității gravitaționale specifice de manipulare

$$K_2 = \frac{G_1}{G} \tag{1.2}$$

în care G_1 reprezintă greutatea obiectului de manipulat;

— parametrul de apreciere globală a calităților tehnice

$$K_3 = \frac{VG_1}{GP}\left[\frac{\text{m}^3}{\text{mm}}\right] \tag{1.3}$$

în care P reprezintă precizia de poziționare.

Pentru valori mari ale lui K_3 se apreciază că, pe ansamblu, acestea corespund unor performanțe superioare ale roboților industriali.

Din analiza comparativă a acestor parametri pentru un număr de 62 tipuri de roboți industriali construiți în perioada 1972—1980 [61] s-a ajuns la următoarele concluzii:

— corelația între configurația arhitecturală și cei trei parametri globali menționați mai sus se consideră a fi orientativă, întrucît valorile obținute pentru aceștia nu permit o delimitare precisă;

— tipurile arhitecturale BA, T și PO dau în general valori mai mari pentru parametrii K_1, iar tipurile P valori maxime pentru parametrul K_2;

— valorile cele mai mari pentru parametrul K_3 sînt date de roboții firmei UNIMATE și de variantele lor constructive, ceea ce explică răspîndirea largă a acestora. Rezultate bune din acest punct de vedere sînt date și de roboții industriali de tipul MHU-ELECTROLUX, PAT PM 10, HIROBOT-YASUI SANGYO, RENAULTHORIZON „80 HORIZON".

Dispersia largă a valorilor pentru parametrii globali analizați conduce la concluzia existenței unei mari posibilități de raționalizare a soluțiilor constructive.

Clasificarea descrisă mai înainte se referă la tipurile uzuale, reprezentative, de roboți industriali a căror morfologie poate fi acceptată în general ca avînd un coeficient de antropomorfism relativ ridicat în comparație cu aceea a roboților specializați. De remarcat că această clasificare are în vedere în categoria roboților mobili numai roboții montați pe șasiu sau cărucior, făcînd abstracție de gama variată a mijloacelor de locomoție întîlnită la roboții specializați.

b) **Roboți industriali cu destinație specială.** *Mijloace de locomoție folosite în construcția roboților specializați.* Pentru deplasarea roboților

Scanned with OKEN Scanner

mobili în condiții de teren denivelat o importanță deosebită o are alegerea elementelor de locomoție, adecvate condițiilor specifice de mediu.

Roata, ca element de locomoție, nu se întîlnește nicăieri în lumea animalelor, deoarece construcția și funcționarea sa contravine unor principii biologice vitale pentru existența acestora. Dezvoltarea unui organ asemănător la viețuitoare nu a fost posibilă în primul rînd datorită greutăților întîmpinate de mișcarea sîngelui și transmiterea impulsurilor nervoase la o articulație rotitoare. Prin urmare, pentru un robot neexistînd asemenea limite, el poate folosi roțile ca dispozitive de deplasare. Problema pusă în acest caz este aceea legată de stabilirea numărului de roți, sistemul de schimbare și sincronizare a vitezelor, dispozitivul de inversare a sensului de mișcare, sistemul de frînare, tipul de amortizare și de cauciucuri folosite pentru roți. Toate aceste detalii trebuie stabilite în funcție de ansamblul de sarcini specifice ce urmează a fi executate de roboții mobili.

Una dintre condițiile importante ce trebuie îndeplinită de un robot mobil este aceea de a avea o manevrabilitate maximă într-un spațiu redus și de a se putea roti într-un cerc cu rază cît mai mică. Din acest punct de vedere este indicat ca robotul să dispună de trei roți cu conducere independentă. Dar, cu o astfel de complexitate constructivă conducerea devine greu de realizat, mai ales în cazul roboților mobili cu gabarite mari. Rezultate mai bune în acest caz pot fi obținute prin folosirea șasiurilor cu șenile, care prezintă în plus avantajul de a putea evita obstacole greu de trecut pentru un robot cu roți.

Inconvenientul folosirii șenilelor este însă legat de necesitatea conservării pistei de deplasare, care, de regulă, suferă deteriorări în timpul rotirii, precum și de creșterea masei robotului, care reprezintă un efect negativ, mai ales în cazul roboților folosiți pentru cercetare cosmică. Din această cauză, într-o anumită variantă a fost propusă folosirea de roți ușoare și foarte elastice, cu diametre mari, avînd spițele elastice. Protecția anvelopei este realizată din fîșii de titan, iar în interior se găsesc montate inele amortizoare pentru limitarea încovoierii cînd anvelopa întîlnește teren denivelat.

În viitor, se anticipează că majoritatea roboților vor lucra tot mai mult în aceleași condiții de mediu ca și omul, a cărui deplasare pe picioare este caracterizată de mersul drept, cu desprinderea de la suprafața pămîntului a unui picior la fiecare pas. Acest model de mișcare foarte avantajos pentru evitarea obstacolelor prezintă dificultăți în asigurarea stabilității în timpul deplasării. Datorită acestor greutăți, roboții mobili obișnuiți au fost dotați cu un simplu cărucior cu roți, care exclude desprinderea de suprafața pămîntului.

Scanned with OKEN Scanner

Cercetările actuale sînt orientate către găsirea unor soluții constructive care să permită imitarea mersului cu posibilitatea desprinderii de sol, asemănător mersului uman.

În lucrarea lui M. Thring „The Robot Age", a fost propusă construirea unui robot cu un singur picior păşitor, ajutat de două tije în care se sprijină pentru a asigura stabilitatea în timpul desprinderii piciorului de suprafața pămîntului.

O altă variantă de păstrare a echilibrului este folosirea unui număr mai mare decît două picioare. Astfel, folosirea a trei picioare poate realiza un echilibru static dacă se folosește o formă specială a tălpilor piciorului (astfel încît în toate pozițiile ocupate, o verticală care trece prin centrul de greutate al robotului să cadă întotdeauna în triunghiul de sprijin). Folosirea a patru picioare realizează deplasarea pe seama folosirii unuia dintre ele, în timp ce celelalte trei picioare asigură stabilitatea. Cu cît numărul de picioare este mai mare decît patru, cu atît mai ușor va fi asigurată stabilitatea. O astfel de creștere a numărului de picioare micșorează însă avantajul față de folosirea roților în ceea ce privește evitarea obstacolelor și urcarea pe teren în trepte.

Prin urmare, alegerea unui element de locomoție pentru deplasarea roboților prezintă atît avantaje cît și dezavantaje și, în consecință, adoptarea oricărei soluții tehnice trebuie să aibă în vedere, drept criteriu prioritar, destinația concretă și funcțiile specifice pe care acesta le are de îndeplinit.

Problema devine deosebit de complexă în cazul roboților cu destinație specială a căror deplasare are loc în condiții grele de teren. În acest caz soluțiile tehnice adoptate în proiectarea mijloacelor de locomoție sînt inspirate cu deosebire de modelele naturale din medii guvernate de acțiunea principiului convergenței formelor.

Pentru a ilustra cele menționate mai sus va fi tratată o clasă de roboți avînd destinații speciale a căror configurație arhitecturală prezintă un coeficient de antropomorfism foarte scăzut în raport cu tipurile prevăzute în clasificarea din tabelul 1.3. Se au în vedere roboții din domeniul folosirii energiei atomice, din cele mai complicate domenii ale industriei chimice, din domeniul construcției și exploatării conductelor cu destinații diferite, roboții subacvatici etc., unde cerința principală de proiectare o constituie fiabilitatea utilajului în condiții de deplină securitate. Necesitatea utilizării roboților în acest caz este reclamată de verificarea periodică a utilajului, de controlul sever al stării acestuia și de efectuarea reparațiilor accidentale și preventive. Este vorba îndeosebi de utilaje care lucrează, de regulă, în condiți de mediu puternic agresive, la temperaturi și presiuni înalte. În asemenea cazuri se impune necesitatea folosirii unor roboți dotați cu mijloace de locomoție specializate, capabili să realizeze atît sarcini de

Scanned with OKEN Scanner

transport a aparaturii necesare pentru control nedistructiv și de intervenție, cît și să efectueze operațiunile de lucru necesare. Acestor roboți li se impune să pătrundă în locuri greu accesibile, să se deplaseze pe terenuri accidentale cu orientări diferite, sau chiar pe pereți verticali, în sus sau în jos.

Modele constructive de roboți industriali specializați pentru controlul și revizia instalațiilor tubulare. Pentru evidențierea implicațiilor tehnice în realizarea unor roboți specializați, din categoria celor menționați mai înainte, este suficient să amintim că pentru a realiza mișcările pe plane cu unghiuri diferite de înclinare este nevoie ca forța de aderență a sistemului de locomoție la suprafața de deplasare să fie de 10 sau chiar de 20 de ori mai mare decît greutatea proprie.

În prezent se caută soluții pentru aceste probleme, care pot fi rezolvate numai prin mijloace netradiționale, ceea ce conduce la realizarea unei arhitecturi complexe și foarte variate.

O clasă de roboți din această categorie, la care ne vom referi în continuare, o reprezintă roboții utilizați pentru revizia, controlul și repararea conductelor pentru transportul fluidelor.

Rețeaua de conducte pentru transportul diferitelor fluide necesită efectuarea unor lucrări prin interiorul conductelor, deoarece defectele care duc la degradarea lor apar, de obicei, pe suprafețele interioare. Uneori, amplasarea conductelor nu permite repararea nici chiar a suprafeței din partea exterioară.

Pentru rezolvarea acestor probleme s-au construit roboți avînd dispozitive speciale de locomoție ce le permit să se deplaseze în interiorul unei conducte și să efectueze operațiunile de întreținere necesare.

Cele cîteva sute de brevete din întreaga lume [60] pentru crearea unui astfel de robot specializat nu au condus la găsirea unei soluții tehnice optime pentru această problemă. Motivele sînt puse pe seama faptului că soluțiile brevetate se bazau pe folosirea unor elemente propulsoare devenite tradiționale ca: roți, șenile, schiuri, care nu corespund unor condiții de lucru atît de grele.

După cum este cunoscut, coeficientul de frecare al metalului pe metal fiind aproximativ de 0,1, în condițiile unei suprafețe acoperite cu o soluție de ungere, cum este cazul depunerilor de pe pereții interiori ai conductelor, acest coeficient va avea o valoare aproximativă de 0,05. Aceasta înseamnă că pentru a se obține o forță de tracțiune a unui motor, egală, de exemplu, cu 100 daN, mijloacele de locomoție ale robotului, necesare deplasării, trebuie să aibă o forță de aderare la suprafața conductei de circa 2000 daN. Această valoare, în realitate, trebuie să fie și mai mare, dacă se ține seama de imposibilitatea așezării etanșe a suprafețelor de contact ale dispozitivului pe suprafața conductei

Scanned with OKEN Scanner

datorită diferitelor încovoieri și îngustării în locurile sudate. Astfel de forțe ar periclita integritatea conductelor.

Toate condițiile grele de lucru descrise, specifice acestui tip de lucrări, obligă la „întoarcerea la natură", la aplicarea principiului convergenței de forme, care oferă posibilitatea alegerii celor mai potrivite modele rezultate din evoluția filogenetică a viețuitoarelor.

Drept model pentru un astfel de robot s-au ales diferite specii de viermi. Dintre aceștia modelul cel mai potrivit a fost acela al viermilor dotați cu perișori tari (cheți) pe partea ventrală și care pot escalada orice tip de suprafață în orice direcție. De remarcat că perișorii dispuși pe corpul viețuitoarei sînt înclinați înapoi, astfel încît permit deplasarea prin galeriile în care se deplasează numai înainte.

Necesitatea creării unui tip de propulsori care să realizeze deplasări în interiorul conductelor a impus studierea modelului natural amintit mai sus pe baza căruia s-a construit primul robot de tip „perie".

Constructiv, un astfel de robot, are o formă cilindrică (fig. 1.11 și fig. 1.12) și este prevăzut la ambele capete cu două perii inelare din sîrmă subțire. Un inel metalic reversibil, care acoperă pe o anumită porțiune aceste perii, se poate deplasa pe suprafața exterioară a robotului, în ambele sensuri, producînd o înclinare a perișorilor sub un anumit unghi, după necesități. Rotirea unui mecanism cu camă, al sistemului de acționare, modifică unghiul de înclinare al perișorilor care se sprijină într-un anumit sens de pereții conductei, astfel încît forța elastică a lor provoacă propulsarea robotului în sens invers. În acest mod orice încercare a sistemului de a se mișca în sens invers este oprită de rezistența firelor de sîrmă, care, datorită înclinării lor, se fixează pe pereții conductei, asigurînd astfel o stabilitate permanentă în timpul mișcării.

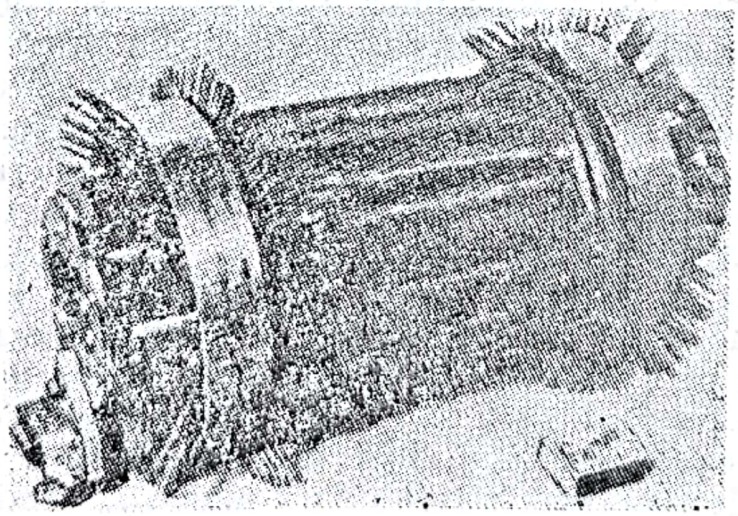


Fig. 1.11. Robot tip „perie" — vedere generală

Scanned with OKEN Scanner

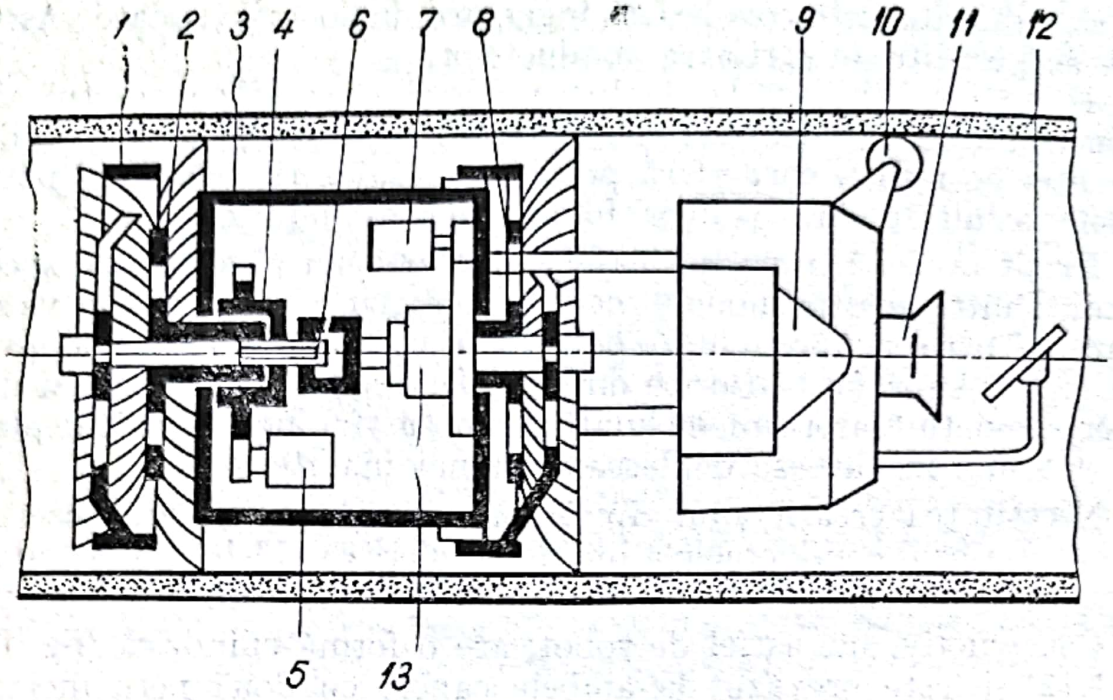


Fig. 1.12. Robot tip „perie" — schemă structurală:

1 — inel reversibil; *2, 8* — suport perii; *3* — corpul sistemului de acționare; *4* — reductor; *5* — motor; *6* — cuplaj; *7* — motor; *9* — sursă de lumină; *10* — dispozitivul aparatului de control nedestructiv; *11* — monitor; *12* — oglindă mobilă; *13* — reductor

Avantajul adoptării unei deplasări prin tîrîre este determinat de faptul că această mișcare depinde numai în foarte mică măsură de gradul de netezime a suprafeței pe care se deplasează robotul, de lubrefiantul interpus între suprafețele în contact, precum și de înclinarea conductei respective în spațiu.

Pentru construcția sistemului de propulsie a roboților tip perie se cunosc în prezent mai multe variante constructive. Astfel, la una din acestea, ca sursă a vibrațiilor transversale, se folosește un vibrator autonom (fig. 1.13). În acest caz perișorii din sîrmă de oțel se conectează în procesul de lucru fie pe rînd, fie pe grupe. Mai mult, dacă propulsorul este construit cu sistemul de perii pe dinăuntru, atunci robotul are posibilitatea de a se deplasa pe partea exterioară a conductei. Un astfel de propulsor fixat stabil poate asigura mișcările de translație și de rotire a unui corp pe care îl cuprinde, cum ar fi o conductă, o șină, o bandă etc.

Din punct de vedere al performanțelor se remarcă faptul că un propulsor cu perii are o viteză mică și un randament energetic scăzut. Datorită acestui fapt, se înțelege că el nu poate fi folosit de exemplu la roboți cărora li se impun viteze mai ridicate de transport. Folosirea acestui tip de roboți nu este limitată numai la conducte. Ea poate fi extinsă și la alte domenii importante, ca de exemplu în construcțiile

Scanned with OKEN Scanner

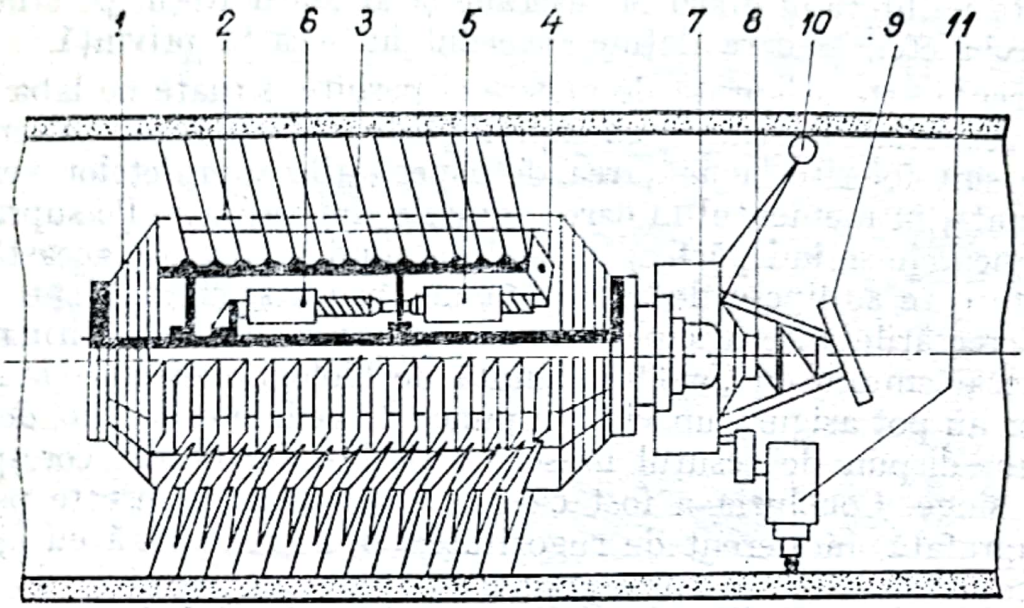


Fig. 1.13. Robot cu conducere automată a periilor:

1 — corpul robotului; *2* — suportul; *3* — elementul elastic; *4* — manetă pentru schimbarea unghiului de înclinare a periilor; *5* — sistem de acționare a înclinării elementelor elastice; *6* — sistem de acționare a deplasării ; *7* — sistem de iluminare; *8* — emițător al sistemului de control al metalului; *9* — oglindă mobilă; *10* — — emițător al sistemului de control al metalului; *11* — agregat de sudare.

tip turn, în mine, în tunele de lemn, la realizarea lucrărilor de depunere a încărcăturilor de exploziv în sonde etc.

Performanțe superioare celor obținute de robotul tip perie în unele cazuri s-au obținut cu dispozitive ce folosesc propulsie bazată pe acțiunea cîmpurilor magnetice. Totuși, nici aceste dispozitive nu rezolvă problema transportului pe suprafețe înclinate aproape de verticală sau chiar pe suprafețe orizontale pe care se află diferite obstacole, cum ar fi, de exemplu, trecerea peste praguri sau peste cusături sudate.

Avînd în vedere că literatura tehnică brevetată nu a scos la iveală un propulsor care să poată asigura o adeziune corespunzătoare, cu orice material solid folosit în construcții, cercetările au fost concentrate către descoperirea unei soluții tehnice principial noi. Cum această soluție nu a fost găsită, în virtutea principiului convergenței de forme, s-a conceput un propulsor-robot prin asemănare cu un model viu din natură. Este vorba despre banala muscă, care poate fugi cu rapiditate pe orice fel de suprafață solidă, pe plafonul văruit, pe sticlă sau pe oglindă.

Interesant de observat este faptul că pe pereți și pe plafoane se pot mișca nu numai insectele mici, ci chiar și unele viețuitoare de dimensiuni relativ mari, cum este batracianul Hyla arborea (brotăcelul) din familia Hylidae și reptila Hemidactylus turcius din familia Gekkonidae

Scanned with OKEN Scanner

ce trăiește pe litoralul Mării Mediterane și al Mării Roșii, pe stînci, pe ziduri vechi etc., și care deține recordul în această privință.

Aderența este asigurată de gheare și pernițe, situate pe laba insectei, care realizează adeziunea cu suprafața de reazem în mod alternativ. Ghearele sînt folosite la agățarea de asperitățile suprafețelor verticale sau înclinate, în momentul în care pernițele sînt ridicate. Pe suprafețele netede, ghearele se îndepărtează, locul lor fiind preluat de această dată de perniță care se lipesc de suprafața de sprijin și creează sub ele un „vid". Cercetările interdisciplinare de dată recentă au infirmat însă teoria mecanismului cu „vid" susținută de biologi. Pernițele mușchilor, gîndacilor nu pot asigura un vid din punct de vedere energetic, deoarece acestea nu dispun de țesutul muscular și de alimentarea corespunzătoare cu sînge. Concluzia a fost că susținerea acestor insecte pe orice fel de suprafață, indiferent de rugozitatea ei, se realizează cu ajutorul unei secreții emise de anumite glande existente în pernițele de sprijin și care nu constituie altceva decît un adeziv universal deosebit de eficient care poate avea două stări stabile reversibile, o stare solidă și o stare lichidă, cu folosiri alternative repetate. Trecerea secreției din stare lichidă în stare solidă și inversarea procesului se realizează pe calea unei recombinări, adică pe baza reconstrucției unei structuri moleculare a secreției.

Este de remarcat că ipoteza lipirii reglate presupune ca suprafața perniței după dezlipire să se curețe singură, în sensul îndepărtării oricăror impurități ce ar îngreuna mișcarea la fiecare etapă următoare. Cercetările au stabilit că la insecte există un proces de autocurățire a suprafețelor de lucru. Ele își „curăță" picioarele frecînd foarte rapid un picior de celălalt prin mișcări longitudinale.

Odată descoperit mecanismul propulsor al insectelor, cercetarea inginerească a fost concentrată către sinteza acestei soluții în vederea folosirii ei la sisteme tehnice. Cercetările au condus la apariția „lichidelor reologice", a „magneților lichizi" capabili să imite într-o oarecare măsură secreția naturală descrisă mai înainte.

În domeniul tehnicii, suspensia reologică, alcătuită dintr-un amestec de praf de bioxid de siliciu (SiO_2) și ulei sau cu un gaz, a început deja să fie folosită [60] pentru fixarea pieselor pe mașini-unelte în timpul prelucrării. Această suspensie în condiții normale are o consistență de vaselină, iar sub acțiunea unui cîmp electric sau electromagnetic devine solidă; la dispariția cîmpului ea revine în stare inițială. Acești „magneți lichizi", sub acțiunea alternativă a unui cîmp magnetic pot trece din stare lichidă în stare solidă și invers aproape instantaneu, iar procesele direct reversibile pot fi executate de nenumărate ori. Astfel de lichide reologice se folosesc în prezent la mecanismele de

Scanned with OKEN Scanner

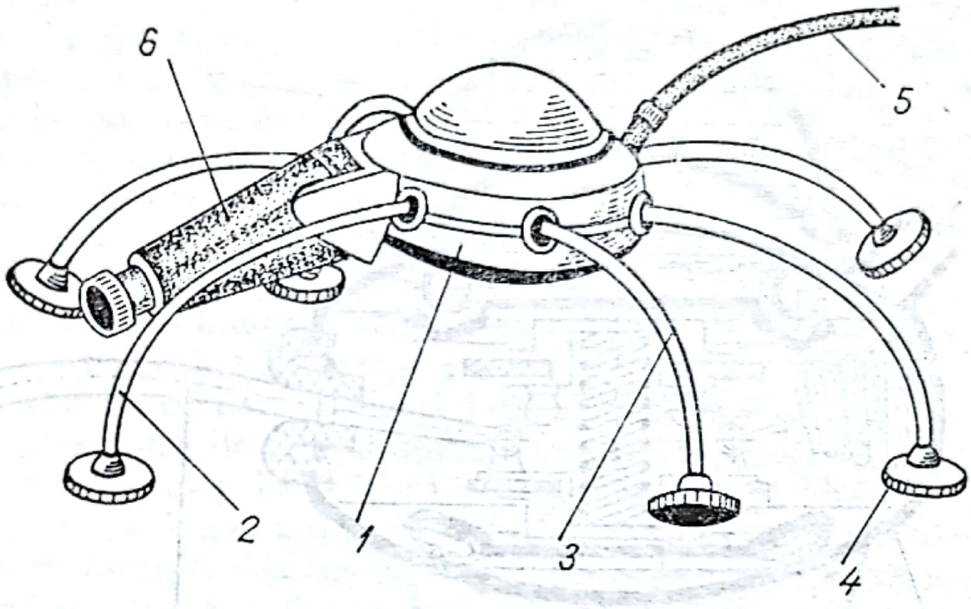


Fig. 1.14. Robot cu sistem de locomoție specializat:
1 — corp; *2* — picior lipit cu suprafața de contact; *3* — picior ridicat; *4* — pernă de reazem a piciorului; *5* — cablu de alimentare; *6* — cameră T V.

propulsie a unor roboți specializați pentru a asigura adeziunea cu suprafețele în contact la deplasarea în planuri înclinate sub diferite unghiuri.

Un astfel de robot este prevăzut cu două grupe de picioare (fig. 1.14), care îl mențin pe suprafață în timpul deplasării. Fiecare grup de picioare montat în semicorp este prevăzut cu sistem de acționare pe orizontală și pe verticală, astfel încît să poată imita mersul. La vîrful fiecărui picior se găsește montat cîte un disc prevăzut cu o perniță care se îmbibă cu lichid reologic. Lichidul se află depozitat într-un recipient amplasat în corpul robotului și ajunge la perniță prin canale axiale (fig. 1.15, fig. 1.16). Fiecare grup de picioare este izolat de corp și se conectează periodic prin comutare la sursa de curent electric exterioară (fig. 1.17). Deoarece robotul are nevoie de un curent slab de alimentare el poate fi dotat cu un sistem de baterii propriu.

Mersul robotului poate fi realizat în orice direcție, prin deplasarea alternativă, pe direcții diferite, a celor două grupuri de picioare într-o anumită ordine.

Este evident că sinteza unei substanțe de „lipit" cu proprietăți identice cu a celor întîlnite în lumea vie atrage după sine apariția unor mijloace de transport într-o concepție constructivă principial nouă în raport cu tot ceea ce se cunoaște din tehnica tradițională.

Arhitectura deosebit de variată a roboților industriali în general și a celor specializați în special este explicată prin faptul că, în acest caz, structura antropomorfă reprezintă un criteriu de sinteză secundar în raport cu cel al utilității și eficienței economice. Definirea struc-

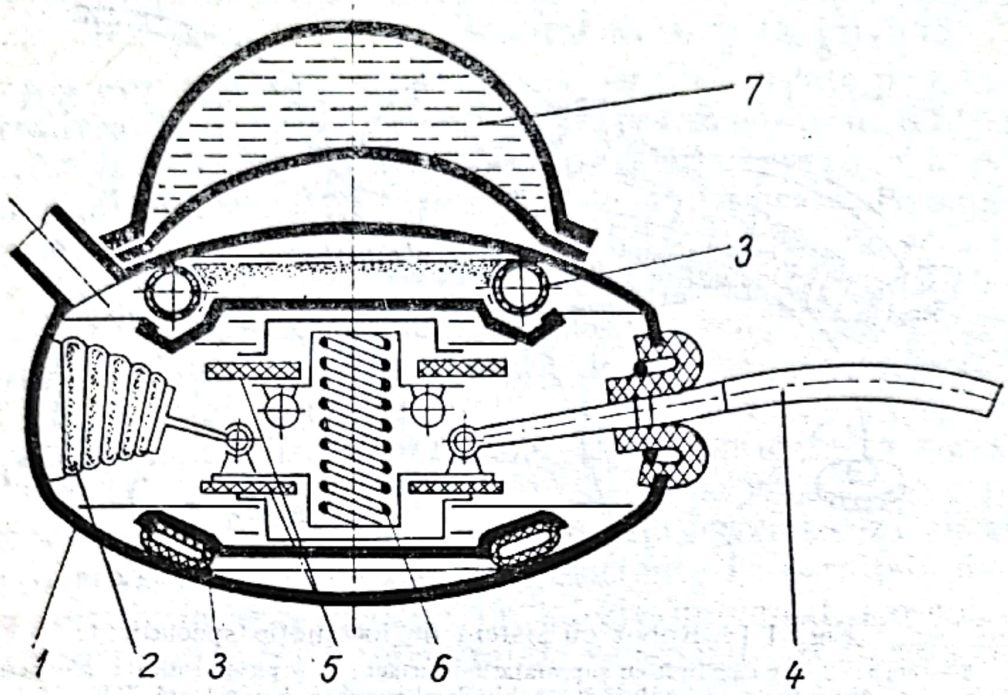


Fig. 1.15. Mecanismul de propulsare a robotului cu sistem de locomoție specializat:

1 — corp; *2*, *3* — sistemul de acționare orizontal și vertical a picioarelor; *4* — picior; *5* — platforme cu articulații pentru trei picioare; *6* — resort; *7* — acumulator de lichid reologic.

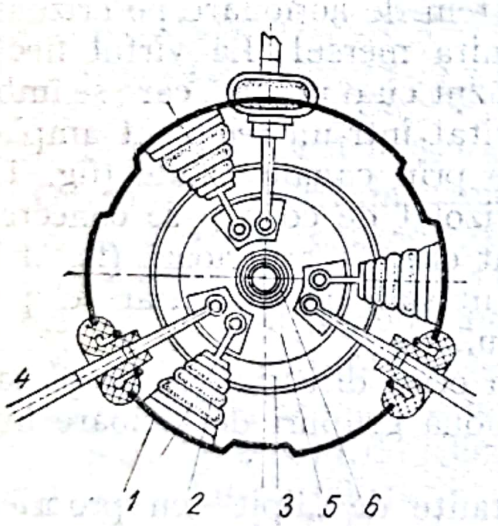


Fig. 1.16. Mecanism de propulsare a robotului cu sistem de locomoție specializat (vedere din interior):

1 — corp; *2*, *3* — sistem de acționare orizontal și vertical; *4* — picior; *5* — platformă pentru articulațiile picioarelor; *6* — resort.

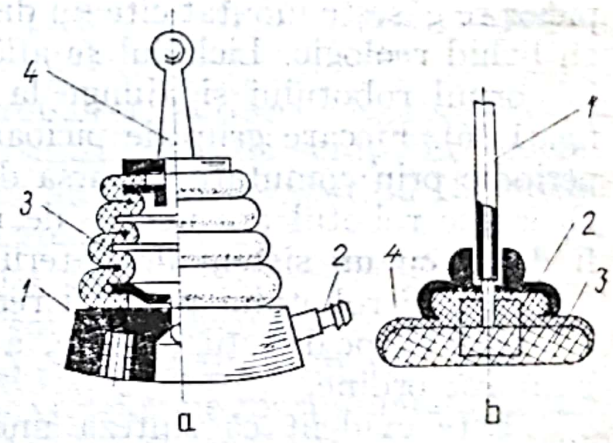


Fig. 1.17. Detalii constructive ale mecanismului de propulsie a robotului cu sistem de propulsie specializat:

a) dispozitivul unei acționări orizontale a picioarelor (*1* — bază; *2* — transformator de tensiune; *3* — burduf elastic; *4* — articulație);

b) dispozitiv de reazem a unei pernite artificiale; (*1* — picior; *2* — capăt de alimentare; *3* — pernă îmbibată în lichid reologic.

Scanned with OKEN Scanner

turii robotului în acest caz este raportată la caracterul programului de fabricație, la particularitățile sistemului tehnic în care este integrat robotul, pe care îl deservește sau cu care interacționează și în general la condițiile concrete de mediu.

Există, totuși, anumite domenii, cum ar fi aplicațiile tehnico-industriale în biologie, din sfera de preocupare a bioingineriei, în care structura antropomorfă a roboților se înscrie ca un criteriu principal de proiectare. Un exemplu semnificativ în acest sens îl constituie „roboții-pacienți" ce se folosesc în scopuri didactice pentru instruirea cadrelor medicale. Astfel, robotul-pacient pus la dispoziția studenților în medicină în anul 1981 de către o firmă japoneză și care în anul 1990 se estimează a atinge cifra de 15 000 unități, pe lîngă faptul că are o structură antropomorfă, el este în măsură să reacționeze la factorii de stimul externi tot așa de bine ca și omul. Studentul care îl „îngrijește" îi poate aplica un tratament similar unui pacient obișnuit: poate efectua un masaj cardiac, poate aplica sistemul de respirație artificială etc. Un mic ecran indică modul cum reacționează „pacientul" dacă ritmul cardiac „se restabilește". La administrarea de medicamente, pe ecran se indică reacțiile „corpului" la medicamentul respectiv. Fiind dotat cu aparate electronice sofisticate, robotul permite o examinare a pupilelor, își modifică culoarea pielii și permite controlul tensiunii.

Plecînd de la asemenea realizări și anticipînd evoluția structurală a roboților se prevede că roboții vor începe să semene tot mai mult cu ființele umane [40], utilizînd toate facilitățile inteligenței artificiale, privind auzul, sinteza vocii, vedere, limbajul natural etc.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 2

STRUCTURA GENERALĂ A ROBOTULUI INDUSTRIAL CONDUS DE CALCULATOR

În cazul general, un robot industrial trebuie să realizeze patru tipuri de *funcțiuni generale:*

— *acțiuni asupra mediului înconjurător*, cu ajutorul unor efectori (de apucare, de împingere, de ridicare, de sudură etc.);

— *percepție*, în scopul culegerii de informații asupra mediului înconjurător (precum și în legătură cu propria sa stare) cu ajutorul unor traductori sau senzori (de proximitate, de forță, de formă etc.) și al prelucrării acestor informații în concordanță cu cerințele sistemului central de comandă în vederea identificării, clasificării etc.;

— *comunicare*, pentru schimbul de informații dintre robot și operatorul uman, sau cu alți roboți, inclusiv în scopul instruirii robotului;

— *decizie*, pentru organizarea interacțiunii primelor trei funcțiuni în vederea realizării unei sarcini.

Pentru realizarea acestor funcțiuni, după cum rezultă din figura 2.1, structura unui robot este alcătuită din următoarele patru subsisteme:

— subsistemul cinematic,

— subsistemul de acționare,

— subsistemul de comandă și programare,

— subsistemul senzorial (de măsurare, informațional).

Scanned with OKEN Scanner

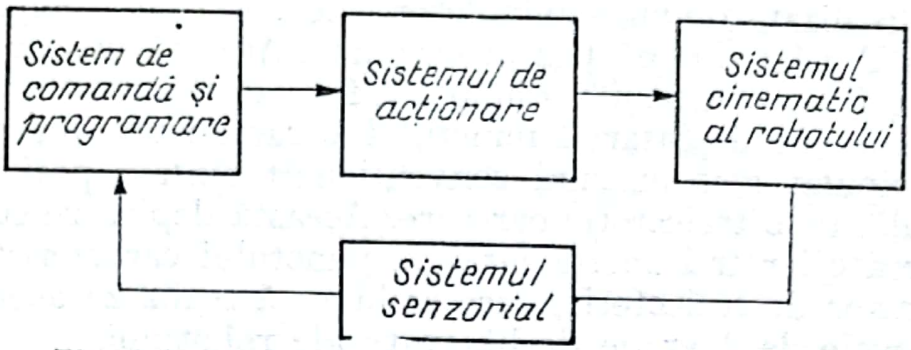


Fig. 2.1. Structura unui robot (sisteme componente).

2.1. SISTEMUL CINEMATIC

Este alcătuit din structura mecanică capabilă să execute diversitatea mișcărilor necesare pentru a se acționa asupra mediului înconjurător (pe baza comenzilor primite de la sistemul de comandă), cu performanțele dictate de domeniile de aplicații (viteză, precizie, depozitionare etc.).

Adesea structura mecanică are un caracter antropomorf, fiind alcătuită dintr-un corp fix (piedestal), pe care se implantează brațul (brațele) — organul de execuție propriu-zis. În anumite cazuri piedestalul poate fi mobil, fiind dotat cu roți sau „picioare" mecanice.

Manipulatorul reprezintă un lanț cinematic deschis sau închis alcătuit din corpuri rigide legate prin cuple cinematice. În mod firesc brațul articulat este prevăzut, la extremitatea sa liberă, cu o încheietură (mecanism de orientare) care oferă cîteva grade suplimentare de libertate, prin intermediul căreia se leagă dispozitivul de lucru (mîna mecanică, dispozitiv de apucare, dispozitiv de prehensiune, gripper). În anumite cazuri mîna mecanică poate fi înlocuită cu dispozitive specializate pentru operații tehnologice ca: sudarea, vopsirea etc. În unele lucrări [63] perechea alcătuită din braț-antrebraț poartă denumirea de *mecanism generator de traiectorie*, iar ansamblul mecanism generator de traiectorie-mecanism de orientare alcătuiește *dispozitivul de ghidare*. În cazuri particulare dispozitivul de ghidare al unui robot poate fi alcătuit numai din braț și mecanismul de orientare.

Cel mai adesea, manipulatorul unui robot dispune de 6 grade de libertate. Pentru explicare, în continuare, se vor evidenția mișcările utile ale unui manipulator pentru realizarea funcțiunilor impuse de utilizator.

Scanned with OKEN Scanner

Funcția realizată de un manipulator este aceea de a deplasa obiectul de manipulat între două poziții oarecare. Această mișcare poate fi concepută ca fiind constituită din două faze distincte. Prima fază a mișcării constă din deplasarea punctului caracteristic (un punct din obiectul manipulat ales în mod convențional) dintr-o poziție inițială într-alta finală, pe o traiectorie oarecare. Această deplasare echivalează cu modificarea celor trei coordonate ale punctului caracteristic. Mecanismul generator de traiectorie, care trebuie să realizeze această funcțiune, are nevoie de 3 grade de libertate ale robotului.

A doua fază a mișcării, după ce punctul caracteristic a ajuns în poziția finală, constă din orientarea a două drepte perpendiculare între ele în punctul caracteristic după direcții ce corespund necesităților formulate cu privire la orientarea finală a obiectului. Se menționează că prima dreaptă este considerată ca făcînd parte din obiectul manipulat trecînd prin punctul caracteristic (de unde și denumirea de dreaptă caracteristică), iar cea de-a doua dreaptă, perpendiculară pe prima în punctul caracteristic, poartă denumirea de dreaptă auxiliară. Din punct de vedere geometric mișcarea menționată echivalează cu modificarea celor 3 *unghiuri ale lui Euler* care definesc poziția dreptei caracteristice. Mecanismul de orientare (încheietura), pentru a putea să efectueze această deplasare, trebuie să aibă de asemenea 3 grade de libertate.

Schimbarea poziției generale a întregului ansamblu robot, depășind de obicei dimensiunile sale, se numește *mișcare globală*. Deplasarea mecanismului generator de traiectorie pentru ca punctul caracteristic să ajungă în poziția finală planificată se numește *mișcare regională* (mișcare de poziționare). Orientarea dreptei caracteristice după o direcție ce corespunde necesităților formulate cu privire la orientarea finală a obiectului poartă denumirea de *mișcare locală* (mișcare de orientare). În acest context se numește *spațiu de lucru* al unui mecanism generator de traiectorie, mulțimea pozițiilor pe care le poate ocupa punctul caracteristic.

Avînd în vedere că mișcarea regională și cea locală necesită în total 6 grade de libertate, iar pentru mișcarea „degetelor" dispozitivului de prehensiune mai sînt necesare alte grade de libertate (în total 6—8 grade de libertate), rezultă că în total se folosesc mult mai puține față de membrul superior al omului, care dispune de peste 20 de grade de mobilitate. Manipulatoarele construite pentru operații de complexitate redusă pot avea un număr de grade de libertate pentru mișcarea regională și cea locală mai mic decît 6, iar cele destinate unor manevre de mare complexitate, cum este de exemplu ocolirea unor obstacole (fig. 2.2), mai mare decît 6.

Definind gradul de mobilitate M ca numărul posibilităților de mișcare pe care le poate avea un lanț cinematic în raport cu un sistem

Scanned with OKEN Scanner

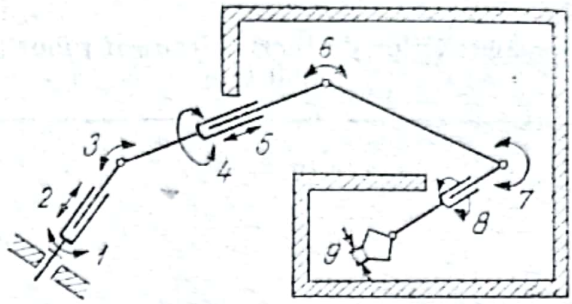


Fig. 2.2. Mod de folosire a surplusului de grade de mobilitate.

de referință solidarizat cu unul dintre elementele sale, considerat fix, se poate stabili formula de calcul a acestuia pe baza numărului gradelor de libertate (L) al lanțului cinematic respectiv dat de formula

$$L = 6e - \sum_{i=1}^{5} iC_i \qquad (2.1)$$

în care e reprezintă numărul de elemente ale lanțului cinematic spațial, $\sum_{i=1}^{5} iC_i$ numărul cuplelor cinematice de clasa i care diminuează cele $6e$ grade de libertate, posibile, ale lanțului cinematic respectiv.

Determinarea gradului de mobilitate al lanțului cinematic prin fixarea unui element al său mai suprimă 6 grade de libertate (corespunzătoare elementului fixat), astfel că în final vor rămîne

$$M = L - 6 \qquad (2.2)$$

grade de libertate.

Înlocuind valoarea lui L din (2.2) în (2.1) se obține

$$M = 6(e - 1) - \sum_{i=1}^{5} iC_i \qquad (2.3)$$

$$(2.4)$$

în care $n = e - 1$ reprezintă numărul elementelor mobile în mișcare relativă față de elementul considerat fix.

Înlocuind valoarea lui n în (2.3) și ținînd seama de gradele de libertate ale legăturilor pasive și de prisos se obține

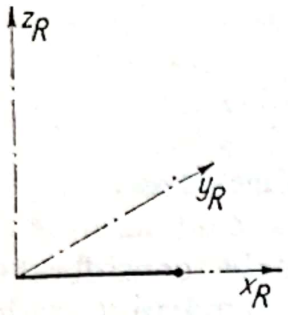
$$M = 6n - \sum_{i=1}^{5} iC_i - \Sigma L_p - \Sigma L_{id} \qquad (2.5)$$

în care ΣL_p reprezintă suma gradelor de libertate ale legăturilor pasive, iar ΣL_{id} suma gradelor de libertate de prisos.

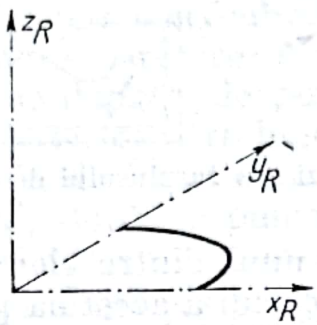
Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.1

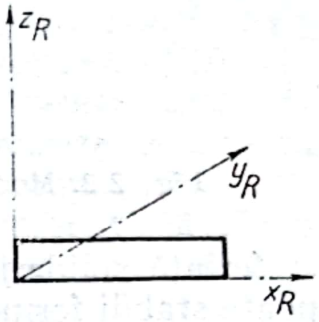
Reprezentarea grafică a posibilităților de lucru ale unui robot funcție de gradele de mobilitate



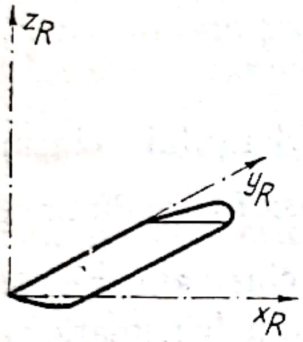
1. O mișcare de translație



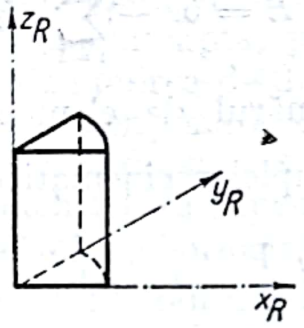
2. O mișcare de rotație



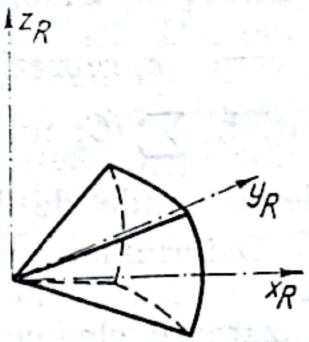
3. Două mișcări de translație



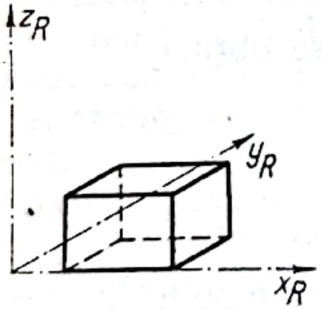
4. O mișcare de translație și o mișcare de rotație succesive



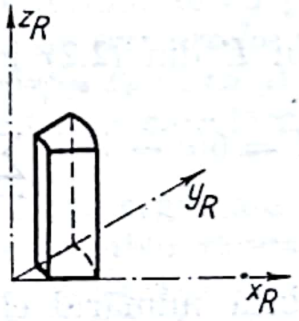
5. O mișcare de translație și o mișcare de rotație simultane



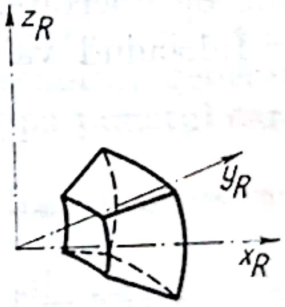
6. Două mișcări de rotație simultane



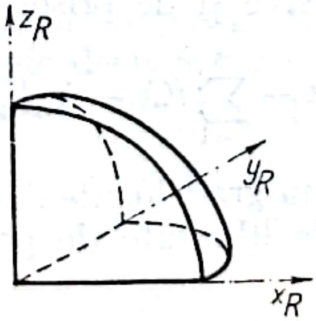
7. Trei mișcări de translație



8. Două mișcări de translație și una de rotație



9. O mișcare de translație și două de rotație



10. Trei mișcări de rotație.

La construcția roboților industriali se folosesc în mod curent cuple cinematice de clasa V (rotație și translație). Prin urmare, dacă lanțul cinematic este un lanț deschis

$$\sum L_p = \sum L_{id} = 0 \text{ și } C_5 = n \tag{2.6}$$

rezultă

$$M = 6n - 5C_5 = 6n - 5n.$$

Ținînd seama și de (2.4) se obține

$$M = n = e - 1. \tag{2.7}$$

Lanțul cinematic corespunzător dispozitivului de ghidare a unui manipulator, pentru a realiza mișcarea regională și cea locală (în vederea deplasării unui obiect dintr-o poziție într-alta, oarecare), trebuie să aibă gradul de mobilitate $M \geqslant 6$. Folosind relațiile (2.6) și (2.7) rezultă că structura unui astfel de lanț trebuie să fie constituită din $e \geqslant 7$ elemente și din $C_5 \geqslant 6$ cuple cinematice de clasa V.

În realitate manipulatoarele construite pentru operații specifice, de complexitate redusă, pot dispune de un număr de grade de mobilitate ale lanțului cinematic al dispozitivului de ghidare mai mic decît 6. Aceste grade de mobilitate se pot combina între ele, conform reprezentării grafice din tabelul 2.1. Cel mai adesea se utilizează 3 grade de mobilitate combinate ca în pozițiile 7, 8, 9 și 10, la care se adaugă una sau două rotații de orientare ale dispozitivului de prehensiune, obținîndu-se în total 4 ... 6 grade de mobilitate.

În funcție de sistemul de coordonate în care se realizează mișcarea diverselor segmente ce compun manipulatorul deosebim roboți în coordonate cilindrice, sferice sau polare.

Roboții în coordonate cilindrice (sau în caz particular, coordonate carteziene), cum sînt de exemplu roboții Versatran, PACER ș.a. (în țara noastră robotul RIC 25), sînt formați dintr-un braț orizontal (fig. 2.3) montat pe o coloană verticală, care la rîndul ei este plasată pe o bază rotativă. Brațul se poate deplasa înainte și înapoi sau se poate deplasa paralel cu el însuși, în sus și în jos, de-a lungul coloanei. Ansamblul braț-coloană se poate roti împreună cu baza, ca un singur element, astfel încît spațiul de lucru al robotului reprezintă o porțiune dintr-un cilindru.

La roboții în coordonate sferice (fig. 2.4), dintre care cei mai cunoscuți sînt primele modele realizate de firma UNIMATE (în țara noastră robotul RIS 6,3), brațul fixat pe turelă are posibilitatea să se deplaseze înainte și înapoi, să pivoteze în plan vertical și să se rotească îm-

Scanned with OKEN Scanner

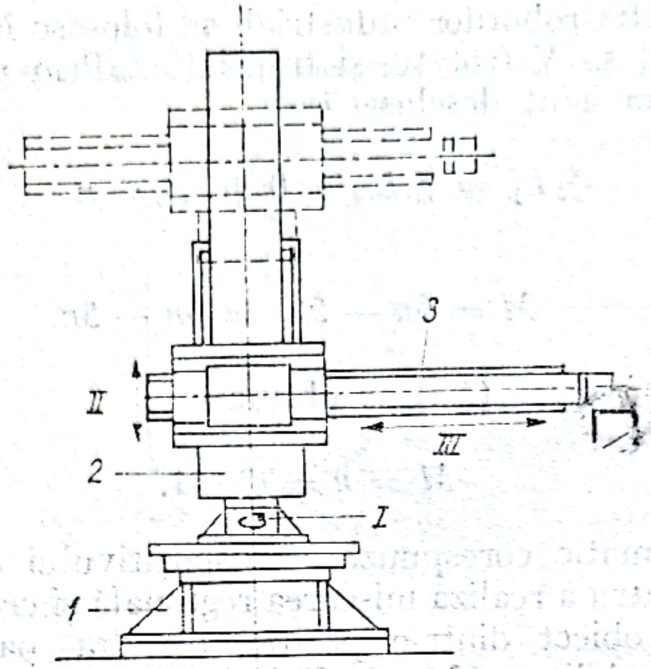


Fig. 2.3. Robot în coordonate cilindrice:

1 — soclu; *2* — cărucior; *3* — braţ; *I* — mişcare de rotaţie a ansamblului cărucior — braţ faţă de soclu; *II* — mişcare sus-jos a căruciorului; *III* — mişcare înainte-înapoi braţului.

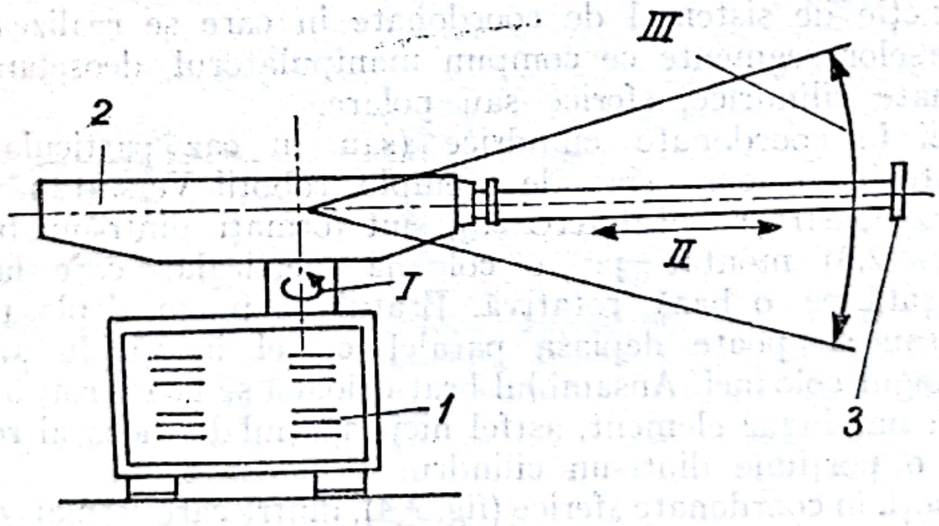


Fig. 2.4. Robot în coordonate sferice:

1 — soclu; *2* — turelă; *3* — flanşe pentru fixarea dispozitivului de prehensiuqe; *I* — rotaţie; *II* — mişcare înainte-înapoi a braţului; *III* — mişcare de pivotare în plan vertical.

Scanned with OKEN Scanner

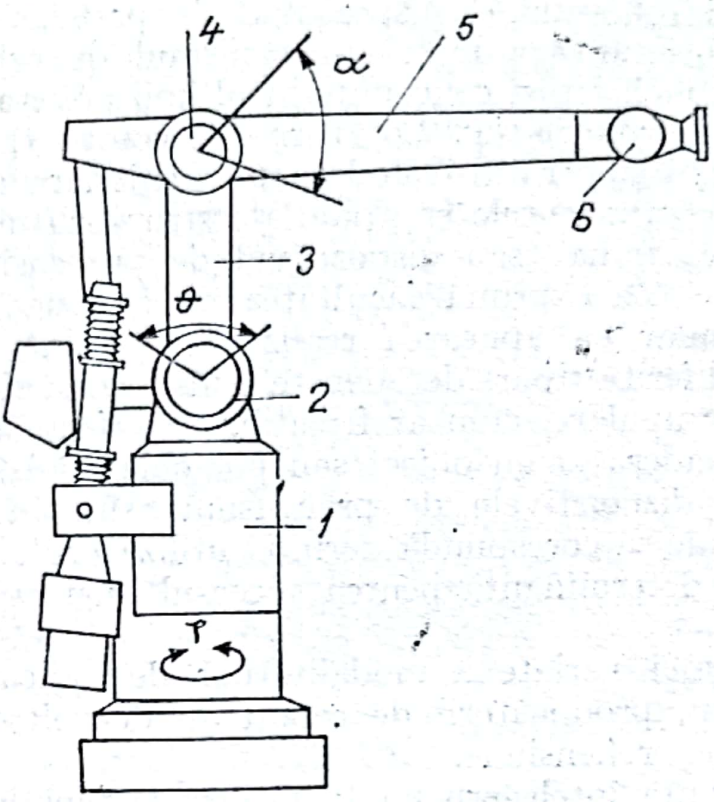


Fig. 2.5. Robot în coordonate polare:
1 — trunchi; *2* — „umăr"; *3* — „braţ"; *4* — „cot"; *5* — „antebraţ"; *6* — încheietură; φ — mişcare de rotaţie a trunchiului faţă de piedestal în jurul unei axe verticale (giraţie); θ — mişcare de rotaţie a braţului de faţă „de „umăr"; α — mişcarea de rotaţie a antebraţului faţă de „cot".

preună cu turela în jurul bazei acesteia. Ca urmare a acestor mişcări spaţiul de lucru reprezintă o porţiune dintr-o sferă.

Roboţii în coordonate polare (fig. 2.5), cum sînt de exemplu cei de tipul ASEA (la noi în ţară RIP 6,3), prezintă un coeficient de antropomorfism mult mai ridicat decît în primele două cazuri.

Ansamblul alcătuit din două segmente („braţ" şi „antebraţ") legate între ele printr-o articulaţie tip „cot", se poate deplasa într-un plan vertical. La rîndul lui braţul este legat de un „trunchi" vertical printr-o articulaţie tip „umăr" ce se roteşte într-un plan orizontal. În acest mod, spaţiul de lucru accesibil pentru robot aproximează o porţiune dintr-o suprafaţă sferică.

În unele aplicaţii industriale s-a adoptat folosirea roboţilor cu mai multe braţe care permit realizarea simultană a mai multor operaţii tehnologice. Deosebirea esenţială între roboţii multibraţ şi cei monobraţ nu este legată atît de structura mecanică, care nu prezintă caracteristici deosebite, cît mai ales de sistemul de comandă, care este mai complex în cazul roboţilor cu mai multe braţe.

Scanned with OKEN Scanner

Între brațul robotului și dispozitivul de prehensiune se găsește, așa-numita „încheietură" a mîinii (mecanismul de orientare). Dintre diferite tipuri de încheieturi concepute în ultimii ani s-a impus încheietura cu trei axe de rotație (fig. 2.6), care este compactă, robustă, adecvată servocomenzii și permite totodată o poziționare ușoară.

Una dintre componentele esențiale ale structurii mecanice a roboților o constituie „mîna" sau dispozitivul de prehensiune (de la termenul „prehensie" ce exprimă facultatea de a apuca).

În mod similar cu apucarea realizată de mîna omului, roboții folosesc adesea diferite tipuri de „degete", însă ei au și alte modalități de apucare și manipulare, cum ar fi: utilizarea efectelor magnetice sau vacumatice, pot adera la un obiect sau pot chiar să-l străpungă.

În general, dispozitivele de prehensiune sînt intersanjabile, iar alegerea lor trebuie să corespundă dorinței utilizatorului, întrucît reprezintă o condiție determinantă pentru succesul unei aplicații cu roboți industriali.

Datorită gamei variate a modalităților de aplicare și situațiilor specifice de lucru, producătorii de roboți au dezvoltat o gamă largă de dispozitive de prehensiune.

Pentru ușurința înțelegerii modalităților de funcționare și a identificării elementelor constructive ale celor mai reprezentative tipuri de mîini (dispozitive de prehensiune, grippere) le vom clasifica după

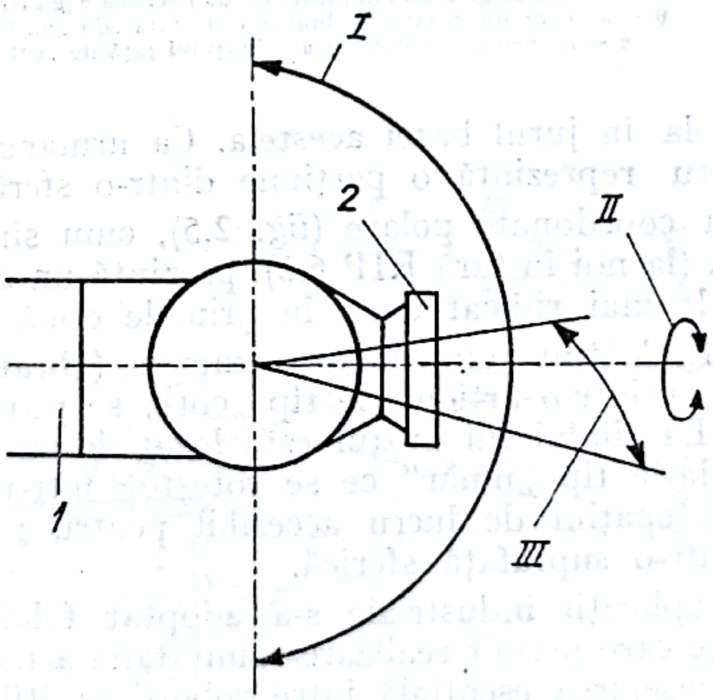


Fig. 2.6. Mecanism de orientare:
1 — extremitate braț; *2* — flanșe pentru fixarea dispozitivului de prehensiune (sculă); *I* — pivotare în plan vertical; *II* — rotație în jurul axei centrale; *III* — pivotare în plan orizontal.

Scanned with OKEN Scanner

principiul de funcționare în patru categorii: dispozitive de prehensiune bazate pe apucarea obiectelor; dispozitive magnetice de prehensiune; dispozitive de prehensiune vacumatice; dispozitive de prehensiune bazate pe alte principii de funcționare decît cele menționate mai sus.

Dispozitivele de prehensiune bazate pe apucarea obiectelor se compun din unul sau mai multe elemente tip „deget", cu ajutorul căruia pot veni în contact și exercita presiuni asupra uneia sau mai multor suprafețe ale obiectului de manevrat. În ceea ce privește asigurarea presiunii superficiale, necesare pentru fixarea unui gripper pe obiectul de manevrat, cea mai simplă modalitate este aceea care face apel la două zone de aderență. Un astfel de gripper are forma unui clește.

Pentru manevrarea pieselor cu mai multe fațete, la care se impune o distribuție uniformă a presiunii pe suprafețele de contact, se folosesc grippere cu mai multe zone de aderență. Pentru piesele de dimensiuni relativ mici și mijlocii se utilizează în mod obișnuit dispozitive cu patru zone de aderență.

Pentru manipularea pieselor fragile, care reclamă folosirea unor forțe de prindere limitate, se utilizează grippere realizate din materiale elastice.

O altă soluție larg folosită pentru fixarea gripperelor pe piesa de montat se bazează pe folosirea unor elemente expandabile. Principiul de aderare a gripperelor expandabile la obiectul de manevrat constă din folosirea unor sfere flexibile din cauciuc, care se introduc într-un orificiu al piesei ce urmează a fi manipulată. După trecerea orificiului, sfera din cauciuc deformată își recapătă forma inițială. Coeficientul de frecare al cauciucului cu diferite materiale în contact permite deplasarea unor obiecte de greutăți relativ mari.

Structura mecanică a dispozitivelor de apucare determină relațiile geometrice, cinematice și cinetostatice ale fiecărui dispozitiv în parte.

În figura 2.7 se reprezintă un dispozitiv de prehensiune cu clește. În mod asemănător, la toate mecanismele de apucare cu clește se întîlnesc cele 3 lanțuri cinematice α, α' și γ (respectiv α_0). Cele două lanțuri α și α' sînt simetrice și permanent închise, indiferent dacă obiectul (OB) este apucat sau nu în degetele mecanismului de apucare. Aceste două lanțuri comandă al treilea lanț γ (sau α_0), care la început este un lanț deschis, dar care se închide apoi după apucarea obiectului. Procesul de închidere este realizat în primul rînd prin forțele de apucare ce iau naștere între degete și obiect (OB). Legătura dintre degetele *4* și *4'* (fig. 2.7, *b*) și obiect nu este deci considerată ca articulație. Această legătură trebuie să susțină în poziție fixă obiectul prin intermediul forțelor de frecare în cel puțin patru puncte de contact.

La dispozitivele de prehensiune prevăzute cu sistem de acționare liniar sau rotativ (exemplu: motor pas cu pas, fig. 2.8) organul de acți-

Scanned with OKEN Scanner

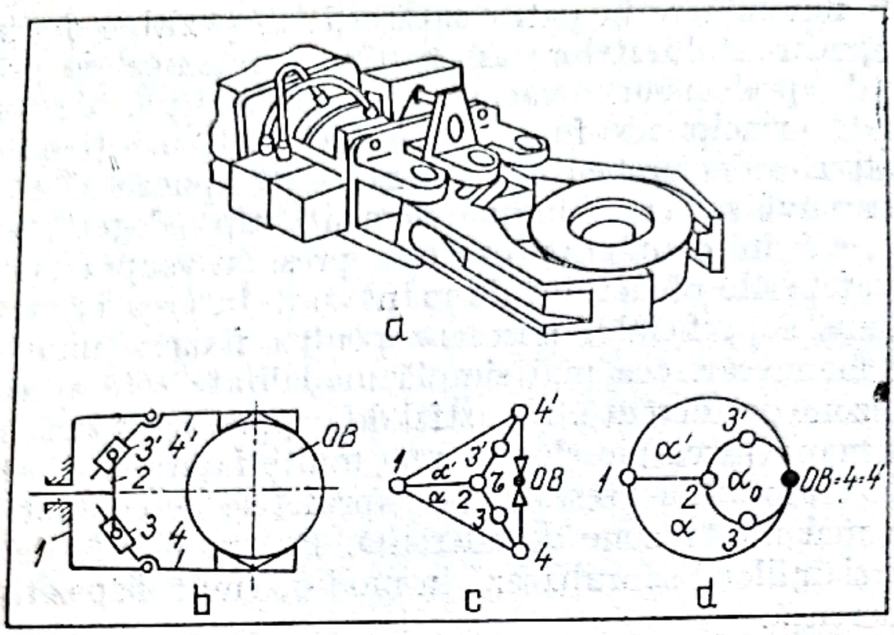


Fig. 2.7. Dispozitiv de prehensiune cu cleşte:
a — execuţie constructivă; *b* — schemă cinematică; *c*, *d* — scheme structurale.

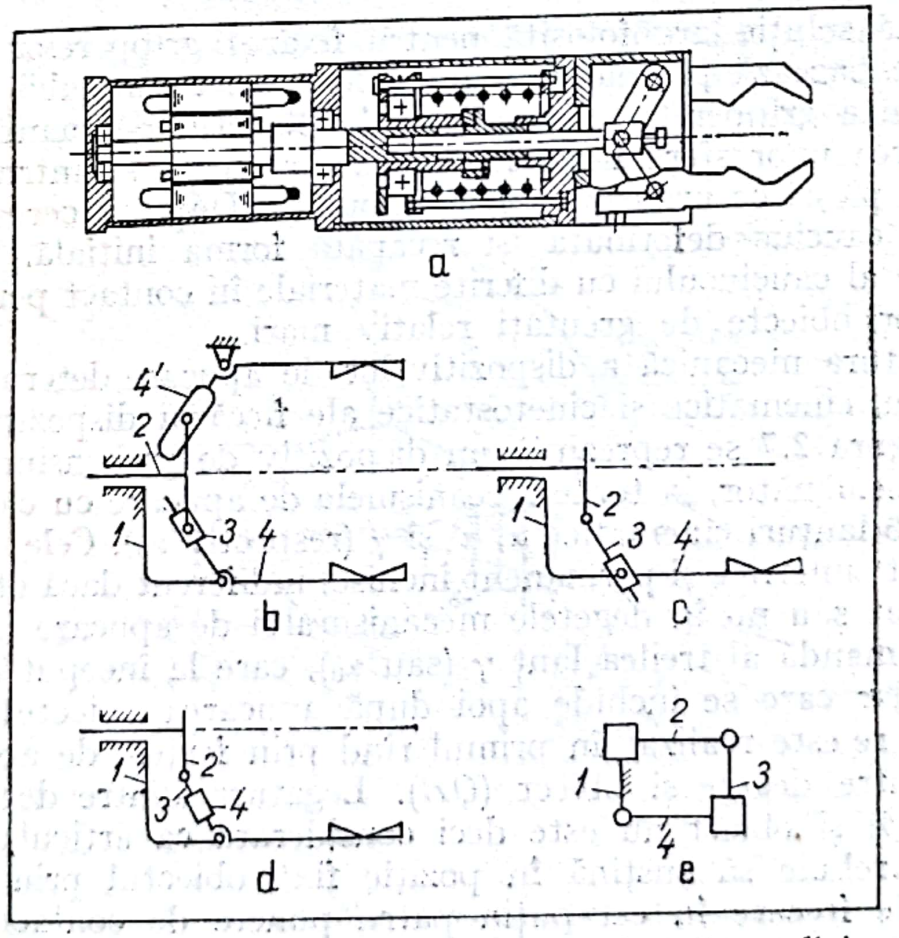


Fig. 2.8. Dispozitiv de prehensiune cu sistem de acţionare liniar:
a — secţiune longitudinală; *b* — scheme cinematice echivalente; *c*, *d* — scheme cinematice cu articulaţie rotativă; *e* — schemă structurală.

Scanned with OKEN Scanner

onare 2 execută o mișcare liniară alternativă de translație, care se transformă apoi în mișcarea de închidere-deschidere a degetelor.

În figura 2.9 sînt prezentat 35 structuri de mecanisme de apucare cu clește. Diferitele structuri se bazează pe graficul unui mecanism închis cu 4 elemente. În legătură cu transmiterea mișcării cinematice în raport cu batiul, ca sistem de referință, se deosebesc 7 variante de mecanisme cu cîte 5 structuri.

În figura 2.10 sînt prezentate alte opt structuri, împărțite în două grupe: cu articulație rotativă și cu articulație curbilinie.

Structurile prezentate în fig. 2.9 și fig. 2.10 pot fi clasificate în final în funcție de mișcarea degetelor și perechea (perechile) cinematică specifică. Cel mai bun dispozitiv poate fi considerat acela care poate apuca cu siguranță obiectele cu modificările de formă și volum prezentate în fig. 2.11.

Pentru proiectarea optimă a dispozitivelor de prehensiune cu clește se aleg ca criterii parțiale importante precizia de apucare și forța de apucare [134].

Precizia de apucare reprezintă abaterea ΔL a centrului de închidere (fig. 2.12) față de o dreaptă perpendiculară pe suprafețele active ale degetelor, cînd acestea sînt paralele între ele și țin un obiect cu diametrul D_0.

În figura 2.12 sînt prezentate forțele care acționează asupra obiectului deplasat, în situația apreciată cu calificativul suficient (S), bine (B) și foarte bine (FB), precum și schemele mecanismelor corespunzătoare acestor situații.

Criteriul denumit „forța de apucare" (F_g) exprimă siguranța privitoare la o eventuală scăpare (alunecare) a obiectului din dispozitiv în timpul operației de manipulare sau, atlfel spus, forța normală necesară pentru apucarea sigură a obiectului.

Acest criteriu poate fi evaluat prin inegalitatea

$$F_g \geqslant 1/\mu F_s \cos(F_s, N) + F_i \cos(F_i, N) \qquad (2.7)$$

în care F_s reprezintă greutatea obiectului, F_i forța de inerție a obiectului în timpul manipulării sale, N vectorul unitar al axei obiectului, μ coeficientul de frecare dintre obiect și suprafețele active ale degetelor.

Scanned with OKEN Scanner

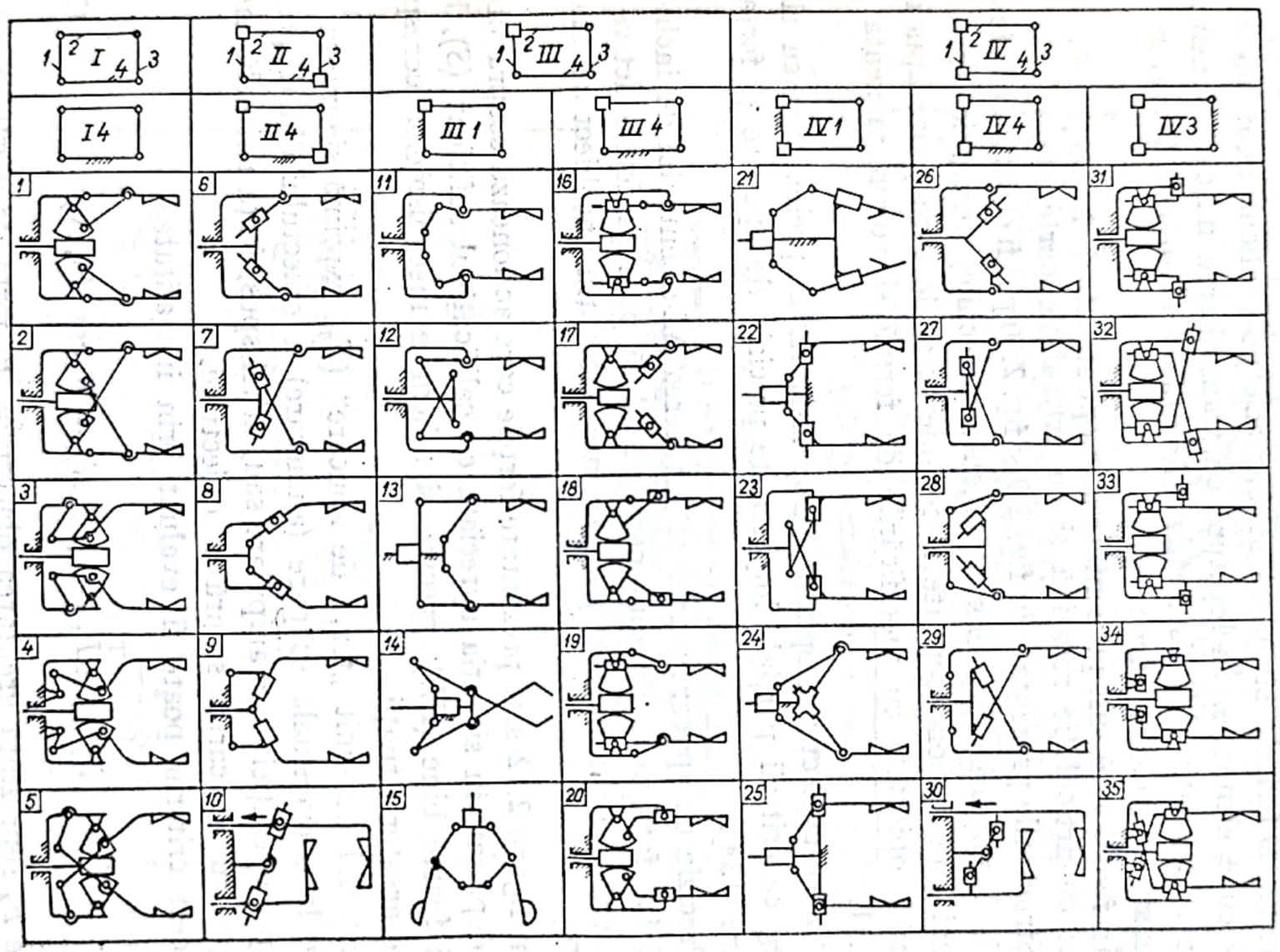


Fig. 2.9. Structura mecanismelor de prehensiune cu degete.

Scanned with OKEN Scanner

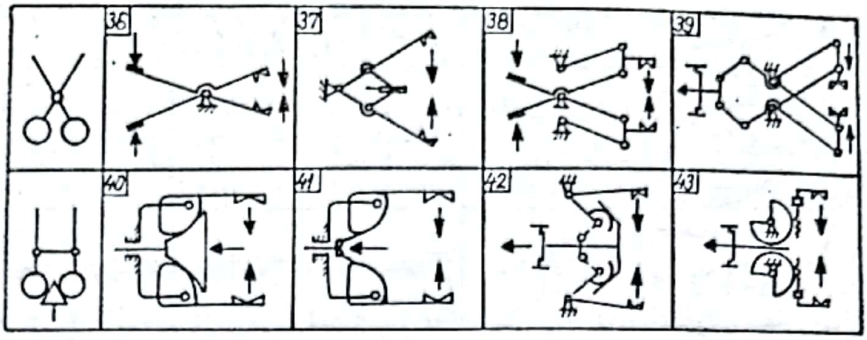


Fig. 2.10. Structura mecanismelor de prehensiune cu degete cu o articulație rotativă (sus) și cu o articulație curbilinie (jos).

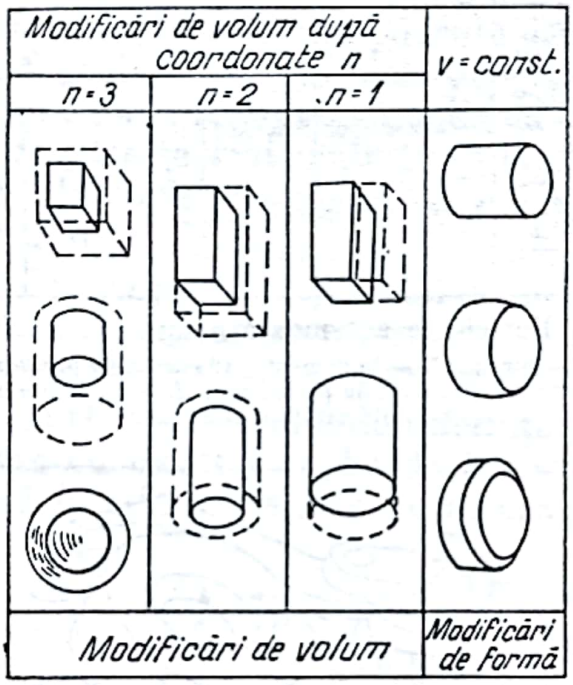


Fig. 2.11. Modificările de formă și volum ale obiectelor care trebuie apucate.

Forțele care intervin în timpul operației de manipulare a unui obiect cilindric sînt reprezentate în fig. 2.13. Accelerația centrului de greutate a fost notată cu litera *a*.

Sinteza dimensională a mecanismului generator de traiectorie, cînd se cunoaște operația umanoidă ce trebuie să fie executată, constă în determinarea dimensiunilor schemei cinematice a acestui mecanism și a curselor liniare, respectiv unghiulare ale elementelor cuplelor cinematice conducătoare.

Sinteza dimensională a mecanismului de orientare constă din determinarea unghiului de serviciu necesar și a curselor unghiulare ale elementelor cuplelor cinematice, prin unghi de serviciu înțelegîndu-se

Scanned with OKEN Scanner

Situația	Schema	Abaterea centrului de închidere		$\Delta D = D - D_0$		Clasa de calitate	Tipul dispozitivului conf. fig. 29 și 30
Pozițiile de așezare ale degetelor	0	ΔL	$\Delta L = (\alpha_1 = 6°8')$	ΔD	$\Delta D = (\alpha_1 = 6°8')$		
Translație	1 a	$\frac{\Delta D}{2} tg\beta$	$\frac{\Delta D}{2} tg\beta$	$2\Delta D\, ctg\beta$	$2\Delta L\, ctg\beta$	S	21
	b	0	0	0	0	S,FB B	10 22 23 30 43
Rotație	2 a	$R\left(\frac{1}{\cos\alpha}-1\right)+e\,tg\alpha$	$\frac{R\alpha^2}{2}+e\alpha$	$2e\left(\frac{i}{\cos\alpha}-1\right)+2R\,tg\alpha$	$e\alpha^2+2R\alpha$	S,FB	1 17 37 2 18 38 6 26 39 7 27 40 11 31 41 12 32 42 15 36
	b	$R(1-\cos\alpha)$	$\frac{R\alpha^2}{2}$	$2R\sin\alpha$	$2R\alpha$		
	c						
Mișcare combinată	3 a	$\varepsilon+(R\sin\alpha+e)tg\alpha$	$\varepsilon+R\alpha^2+e\alpha$	$2R\sin\alpha$	$2R\alpha$	S,FB	3 20 4 24 5 25 8 28 9 29 13 33 14 34 15 35 19
	b	ε	ε			S,FB B	
	c						

Fig. 2.12. Forțele ce acționează asupra obiectului deplasat:

S — suficient; *B* — bine; ΔD — în domeniul adaosului de prelucrare; *FB* — foarte bine; *D* — în domeniul adaosului de prelucrare; *L* — în limitele de toleranțe ale obiectului prelucrat.

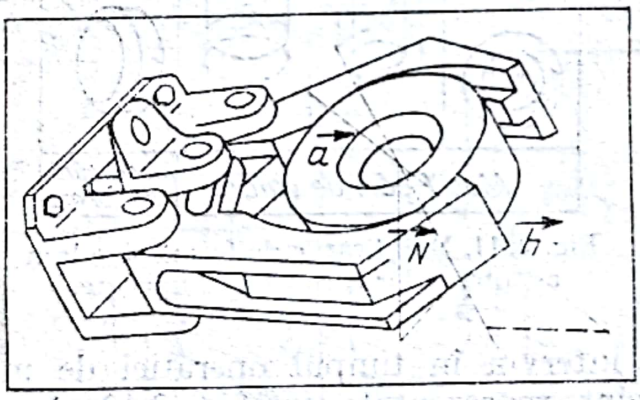


Fig. 2.13. Forțele care intervin în timpul unei operații de manipulare a unui obiect cilindric.

unghiul solid care cuprinde totalitatea pozițiilor posibile ale dreptei caracteristice, corespunzătoare unei poziții ale punctului caracteristic.

Sinteza dimensională a mecanismului generator de traiectorie comportă următoarele faze:

— stabilirea coordonatelor pozițiilor pe care trebuie să le parcurgă punctul caracteristic;

Scanned with OKEN Scanner

— alegerea spațiului de lucru real, care cuprinde toate pozițiile parcurse de punctul caracteristic și deducerea spațiului de lucru aferent;

— stabilirea structurii mecanismului generator de traiectorie în funcție de geometria spațiului de lucru, precum și stabilirea curselor cuplelor cinematice conducătoare în funcție de dimensiunile mecanismului respectiv.

La sinteza mecanismului generator de traiectorie se are în vedere de asemenea alegerea numărului gradelor de mobilitate ale manipulatorului, stabilirea numărului de elemente cinematice, distribuirea gradelor de mobilitate în schema cinematică, precum și alegerea cuplelor cinematice și stabilirea tipului de îmbinare a elementelor.

La stabilirea poziției relative a spațiului de lucru în raport cu zonele de contact ale cuplelor cinematice în componența cărora intră elementul fix se are în vedere faptul că mecanismele generatoare de traiectorie funcționează în condiții cu atît mai defavorabile cu cît obiectul manipulat este mai greu și se găsește mai mult timp la distanțe îndepărtate de zonele de contact ale cuplei (cuplelor) cinematice în componența cărora intră elementul fix.

Pentru a stabili poziția optimă a spațiului de lucru în aceste condiții, în cazul unui mecanism generator de traiectorie ce are la bază un lanț cinematic deschis se va proceda după cum urmează:

— se consideră axa *Oz* a sistemului de referință paralelă cu axa δ_{A_0} a cuplei de rotație sau cu direcția cuplei de translație în componența căreia intră elementul fix (fig. 2.14). În acest caz poziția optimală a

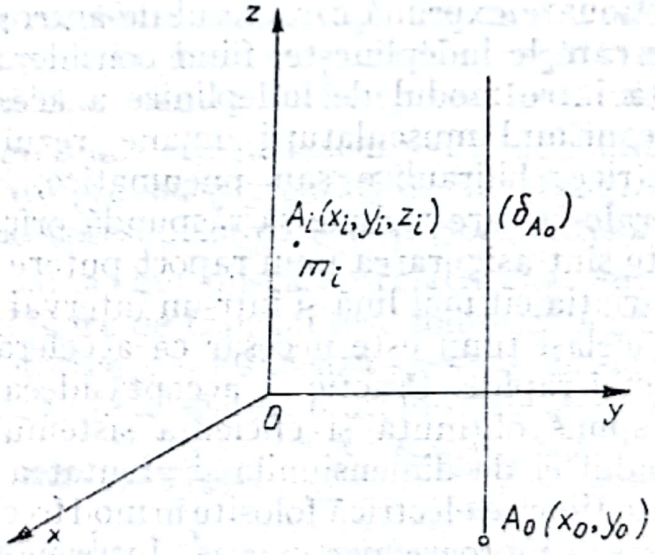


Fig. 2.14. Stabilirea poziției optime a spațiului de lucru în raport cu zonele de contact ale cuplei în componența căreia intră elementul fix.

Scanned with OKEN Scanner

spațiului de lucru în raport cu zonele de contact ale cuplei respective va fi aceea pentru care sînt satisfăcute ecuațiile

$$\sum m_i t_i (x_i - x_0) = 0 \qquad (2.8)$$
$$\sum m_i t_i (y_i - y_0) = 0;$$

$A_0(x_0, y_0, 0)$ reprezintă punctul în care axa cuplei cinematice în componența căreia intră elementul fix înțeapă planul xOy, $A_i(x_i, y_i, z_i)$ o anumită poziție a punctului caracteristic în care acesta staționează un timp $t_i(s)$, m_i masa obiectului manipulat (kg).

În acest mod, obținerea coordonatelor punctului A_0 revine la a rezolva sistemul de mai sus în raport cu necunoscutele x_0 și y_0.

O metodă generală de sinteză privind determinarea spațiului de lucru la roboții industriali cu mecanisme spațiale este redată în lucrarea [109], în care se stabilesc relațiile de calcul pentru distanțele dintre diferite axe ale lanțurilor cinematice spațiale. În acest context se determină condiția geometrică de extrem pentru un mecanism cu mai multe axe, potrivit căreia perpendiculara comună dintre prima și ultima axă trebuie să intersecteze toate celelalte axe intermediare.

2.2. SISTEMUL DE ACȚIONARE

Sistemul de acționare exprimă caracterul de antropomorfism numai prin funcțiunile pe care le îndeplinește, fiind considerat „musculatura" robotului. Diferența între modul de îndeplinire a acestor funcțiuni în comparație cu mecanismul musculaturii umane rezultă din utilizarea unor motoare electrice, hidraulice sau pneumatice.

Cerințele generale la care trebuie să răspundă oricare din sistemele de acționare folosite sînt asigurarea unui raport putere la ieșire/greutate cît mai ridicat și variația cît mai lină și într-un interval minim a momentului la ieșire. În același timp este necesar ca accelerația și decelerația mișcării să fie cît mai rapide. Practic se acceptă ideea unui compromis între viteza de răspuns obținută și eficiența sistemului de acționare, care depinde la rîndul ei de dimensiunile și greutatea sistemului.

Elementele de acționare electrică folosite în mod frecvent sînt motoare de curent continuu sau motoare pas cu pas. Între motoarele de curent continuu sînt preferate cele cu magnet permanent, al căror randament este de 60% față de cele cu eletromagnet, cu un randament mai scăzut — de 40%. În plus, primele mai prezintă avantajul că au un gabarit

Scanned with OKEN Scanner

și un preț mai scăzut. Motoarele pas cu pas slnt utilizate pentru acționarea roboților cu performanțe de poziționare deosebit de precise. Ele prezintă avantajul unei sensibilități reduse la șocuri și vibrații și în general o fiabilitate mai ridicată.

În cazul utilizării acestui tip de motoare nu mai este necesară prevederea unor traductoare de poziție în sistemul de comandă. Totuși, ele reclamă un sistem complex de comandă a secvențelor de comutație, fapt reflectat negativ asupra prețului și siguranței lor în funcționare.

Acționarea hidraulică a roboților este în prezent cea mai răspîndită. Între avantajele acestui tip de acționare enumerăm: raportul putere/greutate al elementelor de acționare hidraulică foarte ridicat, posibilități bune de reglare, structură de ansamblu simplă, tehnici de comandă bine cunoscute și o bună siguranță în funcționare.

Datorită compresibilității reduse a fluidelor utilizate în mecanismele hidraulice, acestea prezintă o rigiditate ridicată și, prin urmare, un timp scurt de răspuns.

Comparativ cu elementele de acționare electrică, sistemele hidraulice prezintă avantajul că includ un număr mai redus de părți componente, sînt mai ușor de întreținut și au o comportare mai bună în medii explozive, cu umiditate ridicată sau cu praf.

Dezavantajul principal al acționărilor hidraulice este determinat de faptul că necesită unități de producere a puterii hidraulice cum sînt pompe, acumulatoare hidraulice etc., precum și echipamente de comandă complexe ca: electroventile, servoventile, servosupape, supape automate etc. Un alt inconvenient este determinat în exploatare de comportarea fluidului folosit. Temperaturile scăzute ale mediului ambiant provoacă creșterea vîscozității acestuia, ceea ce necesită — în cazul cînd se lucrează în asemenea medii — aplicarea unor proceduri speciale de preîncălzire înainte de începerea lucrului cu robotul.

Nu trebuie minimalizate nici scurgerile de fluid datorite etanșărilor imperfecte, care provoacă greutăți de întreținere în timpul exploatării și diminuarea corespunzătoare a performanțelor.

Pentru antrenarea în mișcare relativă a elementelor cuplelor cinematice conducătoare de translație se folosesc hidromotoarele liniare. Hidromotoarele rotative se utilizează pentru acționarea cuplelor de rotație. În acest caz, la alegerea hidromotorului se urmărește menținerea gradului de neregularitate $S = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{md}}$ sub 1%. Reglarea vitezei (vitezei unghiulare) la hidromotoare se face prin modificarea debitului de ulei.

Acționarea pneumatică a roboților se caracterizează prin simplitatea instalațiilor. Ea prezintă avantajul unor viteze mari de acțio-

Scanned with OKEN Scanner

nare, o elasticitate crescută în funcționare, motiv pentru care este folosită frecvent la acționarea roboților industriali, mai ales în cazul celor care deplasează sarcini reduse, cu viteză și precizie ridicate. Această preferință este determinată de valoarea mare a raportului putere la ieșire/greutate, dimensiuni mici ale valvelor de comandă și puteri disponibile mari. Dezavantajele sistemului de acționare pneumatic sînt legate în primul rînd de faptul că acesta nu poate fi utilizat pentru rapoarte forțe/momente mari, deoarece — din motive de securitate — fluidul motor (aerul comprimat) nu poate fi folosit la presiuni ridicate. De asemenea, sistemul implică utilizarea unor dispozitive suplimentare de frînare care să asigure oprirea cuplelor cinematice conducătoare în poziții relativ bine determinate ale elementelor structurii cinematice, ceea ce conduce la scumpirea echipamentelor de acționare.

În cazul folosirii sistemelor de comandă în buclă deschisă, fluiditatea gazelor utilizate în mod obișnuit la elementele de execuție pneumatice face dificile corecțiile mici și influențează negativ asupra preciziei de poziționare. Acest inconvenient este eliminat prin folosirea sistemelor de comandă cu buclă închisă.

2.3. SISTEMUL DE COMANDA ȘI PROGRAMARE

Sistemul de comandă și programare reprezintă un ansamblu de echipamente (structuri de calcul universale sau specializate) și de programe care realizează mișcarea robotului în regim automat sau manual, precum și programarea sa prin metode textuale sau netextuale (v. § 4.4.1 și § 4.4.2) în vederea executării unei sarcini utile.

Primele variante de roboți industriali au fost echipate cu sisteme de comandă, mecanice sau electrice (limitoatoarele de cursă, tamburi cu came sau matrice cu contacte și relee etc.), care permiteau numai o programare rigidă a sistemului.

Apariția și răspîndirea rapidă a mini- și mai ales a microcalculatoarelor, cu o bună funcționare și cu preț relativ redus, a impus trecerea într-un timp scurt la sistemele de comandă construite pe baza structurilor de calcul.

Structura sistemului de comandă, indiferent de varianta constructivă, depinde de setul de funcțiuni atribuite:

a) comanda mișcării robotului (automat și manual);

b) programarea robotului;

Scanned with OKEN Scanner

c) integrarea în sistemul de automatizare flexibilă (cooperarea cu alți roboți, mașini-unelte și dispozitive de transfer etc.).

Problema comenzii propriu-zise a mișcării roboților a constituit, în ultimii ani, un punct de atracție puternic pentru cercetătorii de specialitate, în primul rînd datorită posibilităților deosebite de aplicare a conceptelor avansate din teoria sistemelor automate.

În funcție de cerințele aplicației robotizate și de performanțele atribuite robotului particular, sistemul de comandă al mișcării folosește modele geometrice, cinematice și dinamice ale structurii mecanice de manipulare (v. § 3.3 — § 3.5).

În cazul aplicațiilor care cer numai poziționarea robotului în puncte esențiale ale spațiului de lucru (sudură în puncte, manipulare universală etc.), sînt suficiente sisteme de comandă care realizează mișcări punct cu punct (PTP — point to point).

Aceste sisteme de comandă nu folosesc modelele structurii mecanice de manipulare, realizînd comanda mișcării prin bucle locale (în poziție și/sau viteză, organizate în cascadă sau paralel) pentru fiecare grad de libertate.

Dacă aplicația (sudură cu arc etc.) impune mișcarea robotului în linie dreaptă sau în cerc (în coordonate operaționale) cu controlul vitezei (de exemplu, viteză constantă de-a lungul liniei), atunci sistemul de comandă folosește modelul geometric și cinematic al structurii mecanice de manipulare.

Traiectoriile sînt definite prin puncte esențiale (în coordonate operaționale) ale spațiului de lucru, sistemul de comandă interpolează traiectoria între punctele învățate (CP — controlled path) [27, 44].

Interpolarea se face în coordonate operaționale, iar valorile obținute se transformă cu ajutorul modelului geometric și cinematic invers (v. cap. 3) în mărimi de referință pentru buclele locale de reglare a poziției și vitezei.

La aplicații unde traiectoria de mișcare este foarte complexă (vopsire etc.), ea se memorează toată pe un suport magnetic în faza de programare a robotului (CP — continous path) [44].

Dacă viteza și accelerația de mișcare, precum și precizia de poziționare trebuie să fie mari, sistemul de comandă al mișcării folosește modelul dinamic al structurii mecanice de manipulare.

Implementarea sistemelor de comandă pe baza modelului dinamic este mult mai dificilă datorită complexității acestuia.

În lucrarea [27] este făcută o analiză comparativă a metodelor de comandă a mișcării folosind modelul dinamic al robotului.

Necesitatea utilizării modelelor geometrice, cinematice și dinamice în proiectarea și comanda mișcării structurilor mecanice de manipulare

Scanned with OKEN Scanner

a impus automatizarea procesului de modelare prezentată pe larg în capitolul 3.

După cum rezultă din cele prezentate succint mai înainte, precum și din cap. 3 și 4 ale prezentei lucrări, funcțiunile de comandă ale unui robot industrial, nu pot fi îndeplinite decît cu ajutorul unuia sau mai multor echipamente de calcul. Acestea pot fi încadrate în trei categorii principale și anume: utilizarea unui minicalculator universal, selectat în raport cu cerințele aplicației; proiectarea unui sistem specializat de calcul, cu microprocesoare; îmbinarea celor două soluții de mai sus, în cadrul unor sisteme ierarhizate.

2.4. SISTEMUL SENZORIAL AL ROBOȚILOR

Sistemul senzarial al roboților poate fi definit în sens larg ca reprezentînd un ansamblu de elemente specializate pentru transpunerea proprietăților fizico-chimice ale diferitelor obiecte în informații utile executării anumitor operațiuni.

Proprietățile fizice ale obiectelor pot fi de natură electrică, magnetică, mecanică, termodinamică etc.

În general, percepția se realizează în doi pași: conversia sau transpunerea proprietăților fizice într-un semnal de obicei electric și, pasul următor, prelucrarea semnalului respectiv în vederea obținerii informației utile.

Avantajul principal al echipării roboților cu senzori rezultă din posibilitatea folosirii în timp real a informației senzoriale în vederea executării unor mișcări diferite în medii necunoscute sau parțial cunoscute apriori.

În perspectiva realizării celorlalte funcțiuni ale robotului, amintite mai înainte, sistemul de percepție cîștigă un loc deosebit, favorizat în prezent de evoluția spectaculoasă a structurilor hardware senzoriale și de perspectivele pe care i le oferă utilizarea inteligenței artificiale, mai ales în direcția realizării vederii artificiale (v. § 4.7).

Cercetările privind realizarea vederii artificiale se desfășoară, în prezent, pe trei direcții principale:

a) prelucrarea imaginilor prin rejectarea zgomotelor (întărirea contrastelor și a benzilor de contrast) și reducerea cantității de informație prezentă într-o imagine de informație utilă, extrăgînd elementele caracteristice;

b) recunoașterea formelor pe baza unei descrieri geometrice și asocierilor cu o clasă particulară de obiecte;

Scanned with OKEN Scanner

c) analiza de scene (izolarea elementului ce ne interesează din mulțimea de obiecte aflate în cîmpul vizual).

Clasificarea și caracteristicile principale ale senzorilor sînt descrise la § 4.5.

2.5. ELEMENTE PRIVIND STRUCTURA MODULARĂ A ROBOȚILOR INDUSTRIALI

Necesitatea modularizării construcției de roboți se datorează tendinței inevitabile de amplificare a procesului de diversificare ce se manifestă în acest domeniu (a se vedea clasificarea roboților de la § 1.2).

Tendința de diversificare poate fi explicată prin accelerarea vitezei de pătrundere a cuceririlor științei în tehnologiile de vîrf și a cerințelor mereu crescînde ale societății moderne.

Deoarece cheltuielile de pregătire a oricărei fabricații cresc în măsura sporirii gradului de diversificare, iar cheltuielile de exploatare variază în sens invers, scăzînd cu atît mai mult cu cît utilizatorul are posibilitatea să aleagă dintr-un sortiment cît mai diferențiat, rezultă că limitele diversificării constructive a roboților (ca, de altfel, a oricărui element de MARC, ce face parte dintr-un sistem tehnologic) trebuie reglementate pe criterii economice. Soluția optimă va fi dată, întotdeauna, de minimul sumei acestor cheltuieli (de fabricație și de exploatare), prin care se ajunge de fapt la o conciliere a dilemei diversificare-unificare. Una din căile prin care tehnologia contemporană încearcă să satisfacă această cerință de conciliere în cadrul unificării constructive o constituie concepția modulară de sinteză și proiectare.

La proiectarea mecanismelor roboților industriali și a manipulatoarelor cu un număr mare de grade de mobilitate, o problemă de bază o constituie sinteza cinematică urmată de analiza dinamică a acestor mecanisme. Rolul sintezei cinematice constă în determinarea mișcării în cuplele cinematice de antrenare, rezultatul acesteia fiind mișcarea prescrisă a elementului de ieșire (dispozitivul de prehensiune sau obiectul).

Pentru sinteza structurii modulare a unui robot se pleacă în primul rînd de la analiza cinematicii procesului de lucru și a condițiilor specifice ce permit alegerea și combinarea mișcărilor elementare. În cazul cel mai general robotul industrial trebuie să asigure realizarea celor 6 grade de libertate necesare deplasării unei piese în spațiu, respectiv 3 de translație și 3 de rotație.

Scanned with OKEN Scanner

Teoretic, prin suprapunerea celor 6 grade de libertate de translație sau rotație rezultă $2^6 = 64$ variante constructive pentru realizarea unui robot industrial.

Practic, construcția de bază a unui robot industrial necesită în general un număr de grade de libertate mai mic, care se combină între ele, conform reprezentării grafice prezentate în tabelul 2.1.

Pentru asigurarea gradelor de libertate în condițiile de maximă flexibilitate, potrivit concepției modulare, fiecărui grad de libertate trebuie să-i corespundă un modul prevăzut cu sistem de acționare independent. Un astfel de modul reprezintă deci un subansamblu fizic de sine stătător care îndeplinește o funcțiune bine stabilită.

Pornind de la combinarea unui număr restrîns de module se poate obține o mare varietate de construcții, diferite în complexitate și utilizare. Problema esențială în sinteza unui sistem modular constă din alegerea corespunzătoare și în număr cît mai mic a modulelor care îl compun.

O astfel de concepție reia la scară tehnologică ideea jocurilor tip Baukasten în care o mare varietate de construcții de jucării, clădiri sau mașini se realizează plecînd de la un număr limitat de elemente diferite prin combinarea în infinite variante a acelorași elemente componente, denumite module. În acest caz crearea unor ansamble noi constă în arta de recombinare a acelorași elemente vechi.

Proiectarea modulară a roboților bazată pe tehnica de combinare a modulelor, corespunzător cerințelor concrete ale utilizatorului, eliberează pe proiectant de grija funcționării în amănunt a fiecărui modul, urmînd ca el să se concentreze în întregime numai asupra ansamblului. Astfel, concepția modulară în calculul și construcția unor familii de roboți industriali prezintă avantajul abordării problemei de către colective de lucru independente.

Avantajele proiectării modulare se transmit în continuare atît la fabricant (prin restrîngerea numărului de tipuri constructive și rentabilizarea producției), cît și la utilizator.

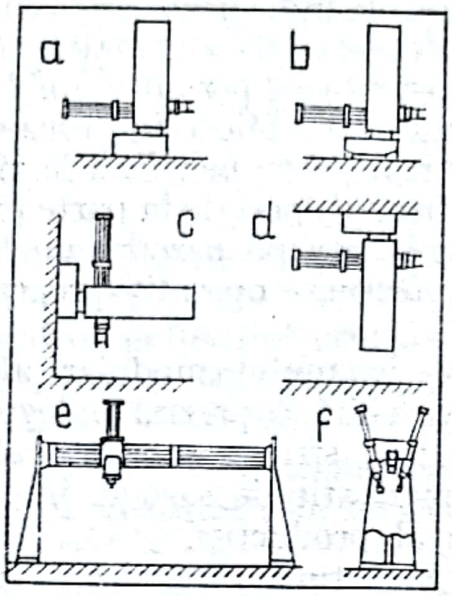
Fabricația în serie mare a roboților industriali cu configurații geometrice diferite, cu posibilitate de acționare în spații de lucru de forme și dimensiuni diferite (în funcție de cerințele utilizatorului) conduce la două obiective tehnico-economice importante:

— dezvoltarea unui robot industrial de construcție compactă;

— dezvoltarea unui sistem modular, care să permită combinarea unui număr nelimitat de variante ale structurii transmisiei gripperului.

Dezvoltarea roboților industriali de construcție compactă în funcție de alegerea tipului de batiu a evoluat conform variantelor de execuție modulară prevăzute în fig. 2.15, sus. Un exemplu de constituire a unei

Scanned with OKEN Scanner



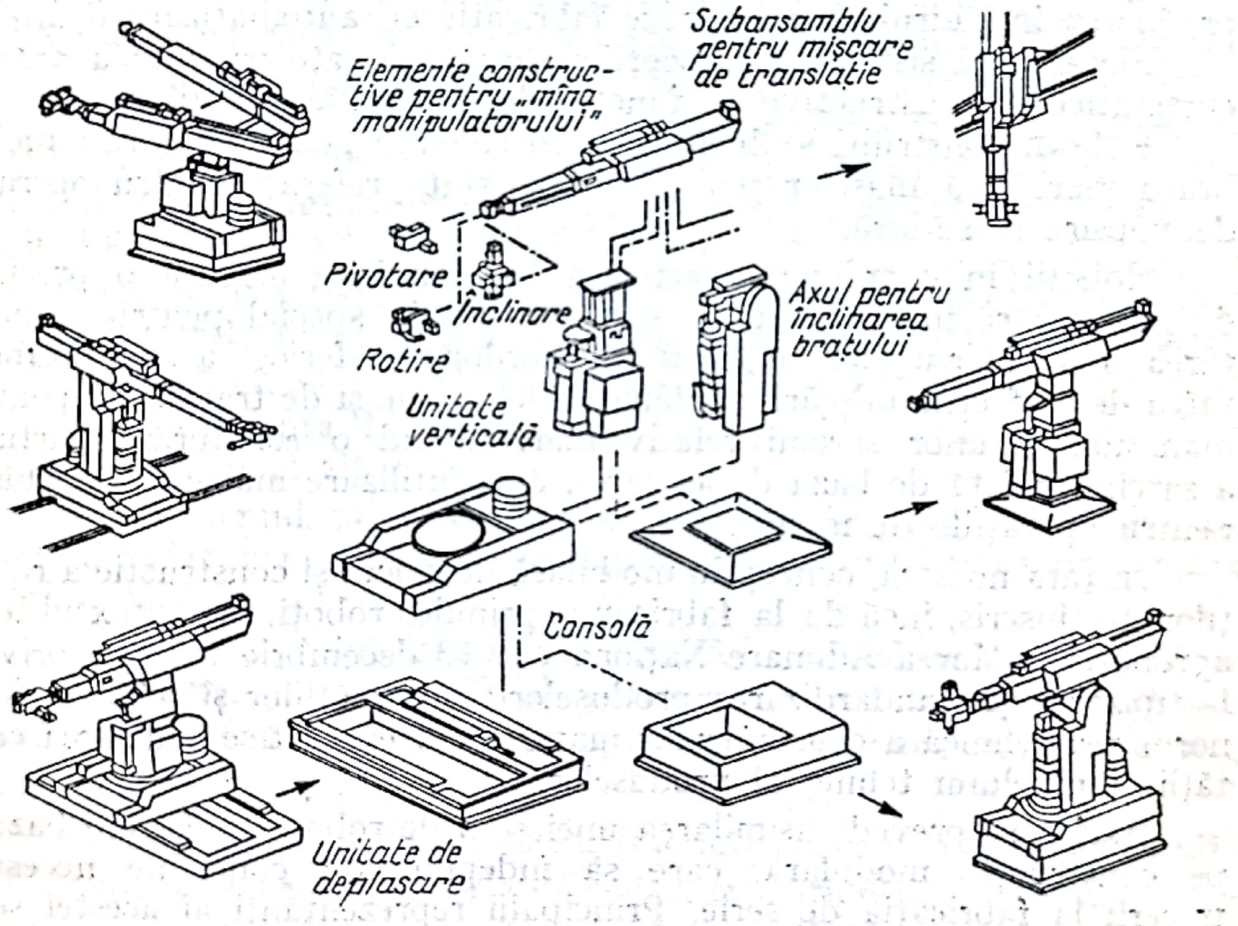


Fig. 2.15. Varianta de execuție a roboților industriali in funcție de tipul de batiu *(sus)*:
a — execuție pe batiu fix; *b* — execuție pe batiu mobil; *c* — execuție fixată de pîrete; *d* — execuție fixată pe tavan; *e* — execuție portal pe 2 sau 4 coloane; *f* — execuție integrată în mașina-unealtă.
Construcție modulară a roboților industriali în concepția firmei „Mitsubishi Heavy Ind." (Japonia) *(jos)*.

Scanned with OKEN Scanner

familii modularizate de roboți industriali este redat în fig. 2.15, jos. Modulele componente sînt diferite cuple cinematice conducătoare, ale căror elemente au forme constructive ce permit asamblarea lor cu alte module.

Utilizatorul care nu poate folosi întotdeauna întreaga capacitate a roboților de tip universal poate beneficia la rîndul lui de echipamentele specializate pentru fiecare operație în parte prin combinări modulare. El poate introduce sau scoate pe parcurs unele mișcări în funcție de sarcinile de lucru și să efectueze operativ programul de reparații periodice sau accidentale.

Pentru cinematica sistemului modular al manipulatorului unui robot o importanță deosebită o prezintă alegerea sistemului de coordonate (cartezian, cilindric, sferic sau polar) și a numărului gradelor de mobilitate, care depind atît de sarcina impusă robotului, cît și de sistemul de organizare al producției.

Se presupune că structura mecanică a roboților industriali va înregistra o continuă evoluție în funcție de nivelul de organizare a producției în cadrul sistemelor de fabricație cu automatizare flexibilă.

Fiecare din sistemele de coordonate menționate prezintă avantaje cinematice și constructive în funcție de destinația roboților.

Roboții construiți să lucreze în coordonate polare, datorită mobilității mari și a maselor relativ mici — sînt preferați pentru operații de vopsire și sudură.

Roboții în coordonate carteziene și cilindrice asigură o precizie de poziționare mai ridicată și sînt utilizați în special pentru alimentarea mașinilor-unelte. Roboții în coordonate sferice, avînd posibilitatea de a efectua mișcări combinate (de rotație și de translație) pentru manipularea unor sarcini relativ mari (avînd o echilibrare parțială a sarcinilor față de baza de așezare), au o utilizare mai largă, inclusiv pentru operațiile de montaj.

În țara noastră, concepția modulară de calcul și construcție a roboților s-a înscris, încă de la fabricarea primilor roboți, în contextul legii aprobate de Marea Adunare Națională la 13 decembrie 1984 cu privire la tipizarea și standardizarea produselor, construcțiilor și tehnologiilor, normarea tehnică a consumurilor materiale și energetice, ridicarea calității și nivelului tehnic al produselor.

Astfel, se prevede asimilarea unei serii de roboți industriali bazată pe construcție modulară, care să îndeplinească condițiile necesare trecerii la fabricația de serie. Principalii reprezentanți ai acestei serii sînt roboții industriali: RIP 6,3; RIC 25 și RIS 63.

Robotul REMT 1 realizat de Institutul Politehnic din Timișoara, împreună cu Intreprinderea „Electromotor", pentru prelucrarea de axe într-o celulă de fabricație, din punct de vedere constructiv se carac-

Scanned with OKEN Scanner

terizează prin aceea că fiecare cuplă cinematică conducătoare împreună cu motorul de acționare adecvat a fost realizată ca un modul de sine stătător. Ca urmare, diferite subansamble ale robotului rezultă din combinarea modulelor de mai sus, creîndu-se astfel posibilitatea realizării pe baza acestui tip de robot a două familii modularizate de roboți industriali.

Preocupările Institutului Politehnic din Cluj-Napoca pentru crearea unei familii de roboți în coordonate carteziene cu acționare electrohidraulică s-au concretizat de la început prin construirea a cinci module, a căror interconectare permite construirea unor arhitecturi variate într-un timp redus și cu un efort minim.

Preocupări deosebite în acest domeniu sînt remarcate în cadrul colectivului pentru sinteza mecanismelor robot „MERO" de la Institutul Politehnic din București.

Pentru a facilita trecerea la proiectarea modulară se propune o metodă generală, ce poate fi utilizată în particular și în proiectarea roboților industriali [95], care constă în „decompoziția" sistemelor tehnice în subsisteme bine definite (funcționale) ce pot fi utilizate și în cadrul altor sisteme, avînd ca efect deschiderea unor largi posibilități de specializare, centralizare etc. Metoda permite trecerea pe drumul cel mai scurt la întocmirea programelor de calcul automat în special în limbaj FORTRAN.

Decompoziția sistemului se bazează pe ideea că fiecare subsistem trebuie să îndeplinească complet o anumită funcție în cadrul sistemului, luîndu-se în considerare următoarele criterii:

— independența funcțională ce face posibilă utilizarea subsistemului și în cadrul altor sisteme;

— subsistemul să constituie un subansamblu de sine stătător, care poate fi rodat, controlat și comercializat independent în raport cu alte subsisteme;

— comportarea subsistemului să poată fi descrisă de un subprogram, astfel ca pentru anumite valori ale parametrilor de intrare să corespundă strict anumite valori ale parametrilor de ieșire, atît teoretic, cît și practic, experimental.

În acest mod fiecare subsistem (modul) poate fi considerat „multipol", caracterizat printr-o serie de coduri și mărimi ce permit descrierea structurii oricărui mecanism de tip robot (MERO).

Concepția modulară în construcția roboților a fost însușită de toate firmele producătoare de roboți din străinătate, după cum rezultă din descrierea sintetică a unor exemple prezentate în continuare.

Scanned with OKEN Scanner

2.5.1. STRUCTURA MODULARĂ A ROBOȚILOR ÎN CONCEPȚIA FIRMEI „RENAULT" (FRANȚA)

Firma Renault a adoptat un număr de 12 unități modulare diferite [93], ce stabilesc structura mecanismelor utilizate în construcția roboților industriali.

Pentru realizarea roboților tip „80" și a roboților pentru operații de vopsire, unitățile modulare mai importante sînt:

— *masele de rotație*, ce reprezintă modulul principal al mecanismului de bază. Acesta permite rotația robotului în jurul axei perpendiculare pe suprafața de sprijin (fig. 2.16, a);

— *articulațiile cot*, ce reprezintă cuple cinematice care realizează rotații paralele cu fețele de sprijin (fig. 2.16, b);

— *modulul de translație*, destinat pentru curse mari sau reduse (fig. 2.16, c);

— *articulații tip încheietură*, prevăzute cu trei axe concurente ce formează între ele un triedru. Ansamblul este prevăzut cu trei grade de mobilitate și este folosit pentru orientarea obiectului manipulat de către robot (fig. 2.16, d);

— *trompa, supranumită „de elefant"* (fig. 2.17), ce prezintă o structură poliarticulară flexibilă, care poate realiza curburi de rază constantă și reglabilă după necesități. Gradul de suplețe al trompei permite accesul în diferite cavități mai puțin accesibile articulațiilor tip încheietură. Ca dezavantaj se menționează capacitatea de încărcare redusă, motiv pentru care este utilizată în principal la roboții pentru vopsire.

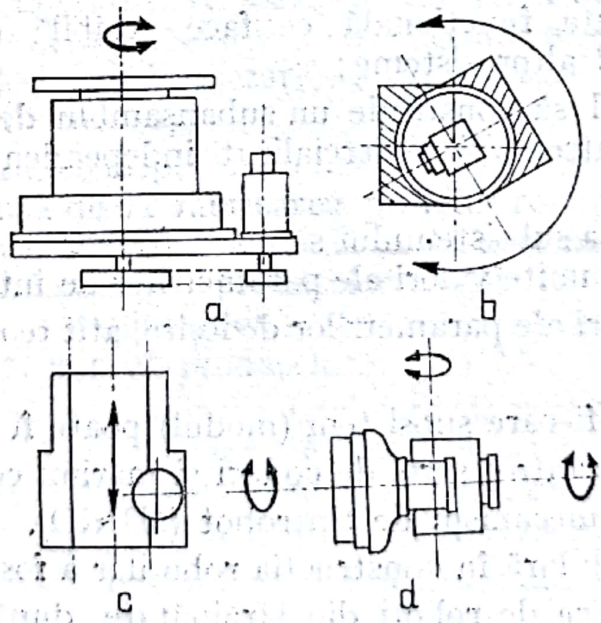


Fig. 2.16. Structura modulară a roboților firmei „Renault".

Scanned with OKEN Scanner

2.5.2. STRUCTURA MODULARĂ A ROBOȚILOR CONSTRUIȚI ÎN ITALIA

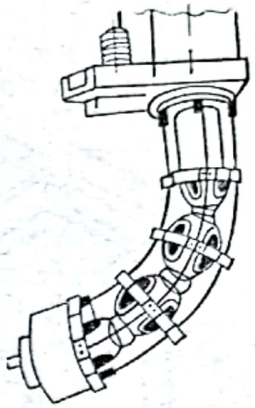


Fig. 2.17. Modul „trompă de elefant"

Familia de roboți DELTIX ai companiei italiene RIV, destinată tehnologiei de sudare prin puncte, are la bază o structură modulară originală, proprie. Principial, construcția modulară conduce la realizarea unui robot DELTIX vertical (fig. 2.18) și a unui robot DELTIX orizontal (fig. 2.19). Structura robotului DELTIX vertical, alcătuită din diferite configurații modulare, poate asigura controlul mișcărilor pe 2, 4 și respectiv 6 axe. Ea cuprinde, în funcție de variantă, următoarele elemente:

— în varianta cu 2 axe, cuprinzînd cadrul 1 și traversa 2 de care se fixează dispozitivul de sudare, se realizează două translații;

— în varianta cu 4 axe, cuprinzînd în afară de elementele 1 și 2 și coloana 3, se adaugă încă o rotație și o translație;

— în varianta cu 6 axe, se atașează suplimentar un grup cu două rotații 4.

O combinație modulară similară conduce la realizarea robotului orizontal.

2.5.3. STRUCTURA MODULARĂ LA ROBOȚII CONSTRUIȚI ÎN R. P. BULGARIA

Structura modulară a roboților de proveniență R. P. Bulgaria se bazează pe licențe Versatran (S.U.A.) și Fanuc (Japonia). În această țară circa 80% din roboții de fabricație proprie sînt elaborați din module unificate.

Manipulatoarele industriale tip „Pirin" sînt folosite pentru încărcarea mașinilor-unelte care produc piese simetrice-rotative, avînd de la 2 pînă la 5 grade de mobilitate. Ele se execută în două variante constructive: portale și verticale.

Manipulatoarele portale „Pirin" (fig. 2.20) se utilizează în special la manipularea pieselor tip „arbore". Construite modular, fiecare dintre ele poate dispune de la 1 la 4 mîini mecanice ce pot acționa în paralel sau succesiv, după cum o cer sarcinile de lucru.

Scanned with OKEN Scanner

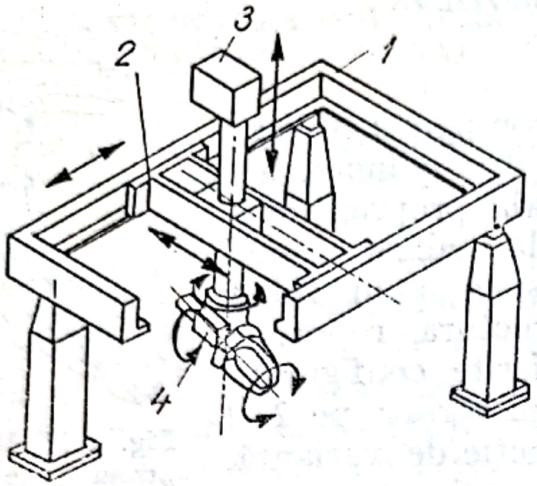


Fig. 2.18. Structura modulară a robotului DELTIX vertical:
1 — cadru; *2* — traversă; *3* — coloană.

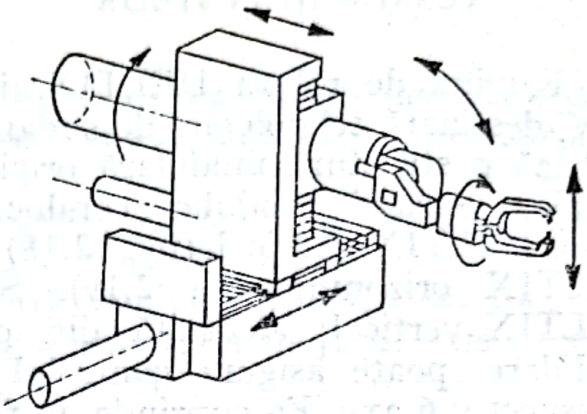


Fig. 2.19. Structura modulară a robotului DELTIX orizontal.

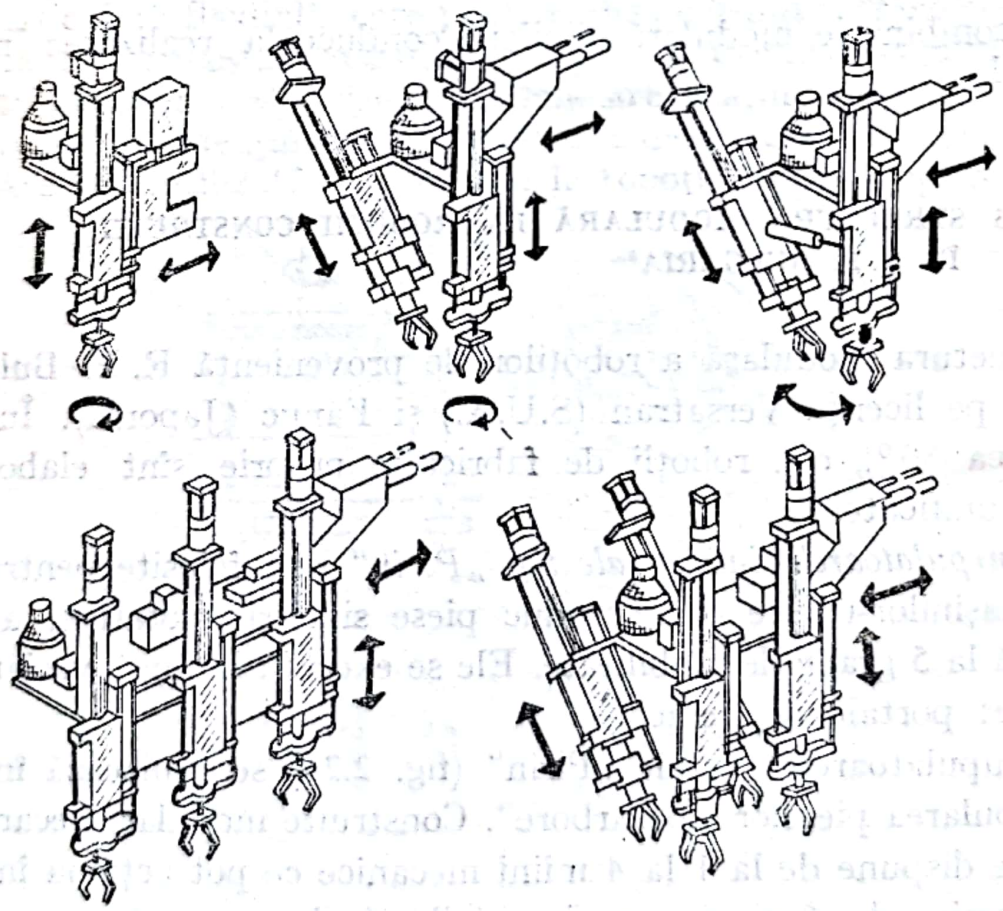


Fig. 2.20. Manipulatoare portale tip PIRIN.

Scanned with OKEN Scanner

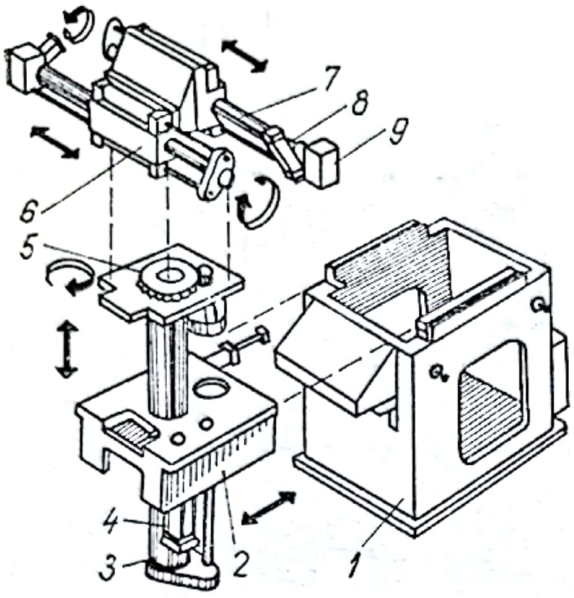


Fig. 2.21. Structura modulară a manipulatorului vertical tip PIRIN.

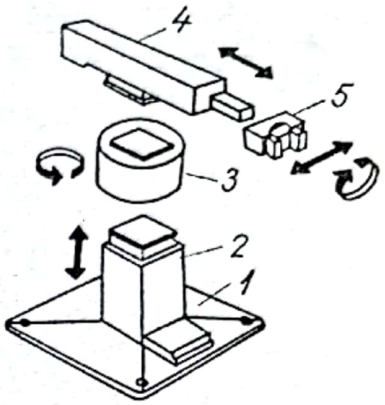


Fig. 2.22. Robotul industrial RB-110.

Manipulatoarele verticale tip „Pirin" (fig. 2.21) sînt utilizate de asemenea la încărcarea mașinilor-unelte pentru prelucrarea pieselor de tipul discurilor. Ele pot lucra ca componente cu două brațe de lucru, care pătrund concomitent în zonele de lucru, permițînd micșorarea timpului de execuție, concomitent cu creșterea ritmului liniei tehnologice automate. Fiind de construcție modulară, aceste manipulatoare posedă 4 pînă la 5 grade de mobilitate, la care se adaugă mișcarea de apucare. Se compun din batiul 1, modulul 2 al mișcării transversale, coloana 3, modulul 4 de ridicare, modulul 5 pentru rotire, capul principal 6, modulul 7 de mișcare orizontală, modulul 8 pentru rotirea apucătorului și a blocului de strîngere 9.

Roboții industriali RB-110; RB-231; RB-232; RB-233; RB-234 sînt utilizați pentru automatizarea operațiilor principale și auxiliare ca: deservirea mașinilor-unelte, forjare-presare, turnarea metalelor, prelucrarea sticlei sau maselor plastice etc.

Acești roboți sînt construiți pe principiul modular avînd 2 ... 7 mișcări independente, după necesități.

Roboții industriali RB-110 (fig. 2.22) au în componență următoarele module distincte: batiul 1, modulul de ridicare 2, modulul de rotire 3, modulul pentru mișcarea orizontală 4 și mecanismul de orientare 5. Mecanismul de orientare poate imprima mîinii, după caz, o mișcare de rotație și o mișcare de translație transversală în raport cu aceea a modulului 4.

Scanned with OKEN Scanner

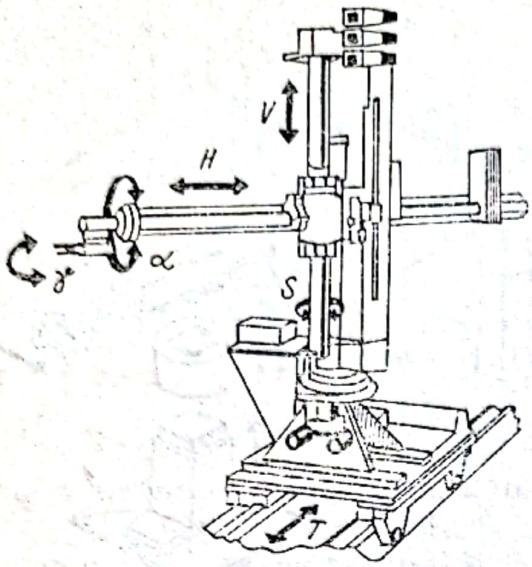


Fig. 2.23. Robotul industrial tip RB–231.

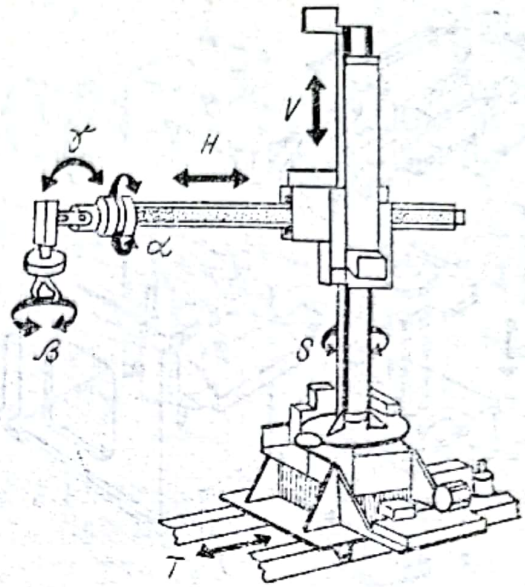


Fig. 2.24. Robotul industrial tip RB–232.

Robotul industrial RB-231 (fig. 2.23), construit de asemenea pe principiul modular, dispune de 2 pînă la 6 grade de mobilitate, iar roboții industriali RB-232, RB-233, RB-234 dispun de 2 pînă la 7 grade de mobilitate. Aceștia din urmă se deosebesc față de robotul RB-231, în principal, prin posibilitatea de rotire în jurul unei axe verticale a palmei mîinii (fig. 2.24).

Existența celor trei mișcări locale independente ale palmei (α, β, γ) la roboții de mai sus le permite o lărgire considerabilă a posibilităților de funcționare.

2.5.4. STRUCTURA MODULARĂ LA ROBOȚII CONSTRUIȚI ÎN R.P. POLONĂ

Un exemplu de construcție a structurii mecanice pe principiul modular este reprezentat de roboții de transport din familia PRO 2, folosiți pentru manipularea materialelor și pieselor în operațiile automate ale mașinilor-unelte, precum și a unor instalații de încărcare-descărcare, de asamblare automată etc. Există trei tipuri de module pentru deplasări liniare (MA, MB și MC) și două tipuri pentru mișcările de rotație (MD pentru rotația coloanei robotului și ME pentru articulații încheietură).

Scanned with OKEN Scanner

În figura 2.25 se prezintă o schemă a combinațiilor posibile ale modulelor standard corespunzătoare diferitelor configurații ale roboților PRO 2.

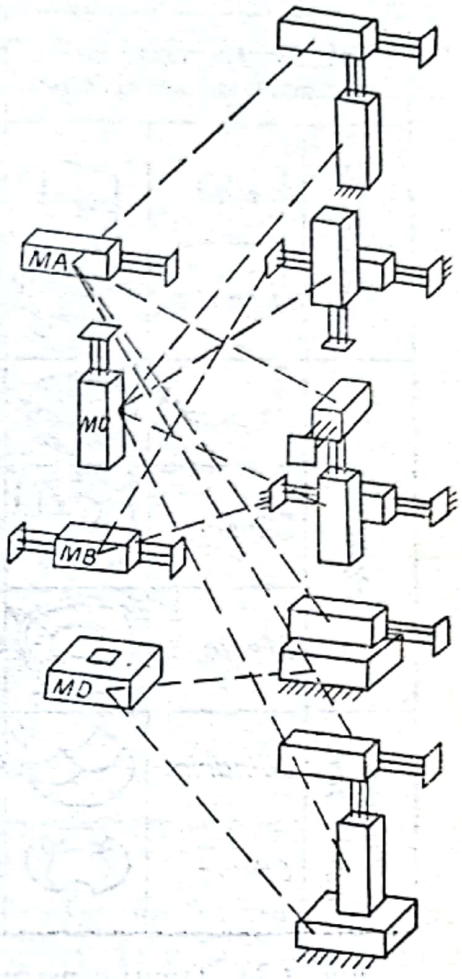


Fig. 2.25. Robotul industria PRO 2 (combinații modulare).

2.5.5. ROBOȚI CONSTRUIȚI ÎN U.R.S.S.

Fiecare din tipurile constructive modulare de roboți industriali realizați în U.R.S.S. și prezentate în fig. 2.26 poate fi executat în mai multe variante, care se deosebesc prin structura de transmisie a gripperului, prin numărul de brațe (grade totale de mobilitate), viteze, precizie de poziționare etc.

Diferite execuții pot fi modificate folosind modulele prezentate în fig. 2.27. Fiecare din aceste module constituie cîte o cuplă cinematică conducătoare, ale cărei elemente prezintă anumite forme constructive ce permit asamblarea lor cu alte module.

2.5.6. STRUCTURA MODULARĂ LA ROBOȚII CONSTRUIȚI ÎN R.D. GERMANĂ

Structura modulară la roboții construiți în R.D. Germană a fost cercetată și aplicată pentru prima dată pentru dezvoltarea roboților de sudură.

În figura 2.28 sînt prezentate unitățile de construcție modulară ZIS 995 utilizate pentru roboții de sudură care să corespundă exigențelor privind precizia de conducere, capacitatea de încărcare și siguranța de funcționare a acestora.

Unitățile de translație sînt de tip grinzi-cheson, avînd suportul echipat cu role de ghidare reglabile. Fiecare unitate dispune de un sistem propriu de transmisie și măsurare a deplasărilor. Transmisia este

Scanned with OKEN Scanner

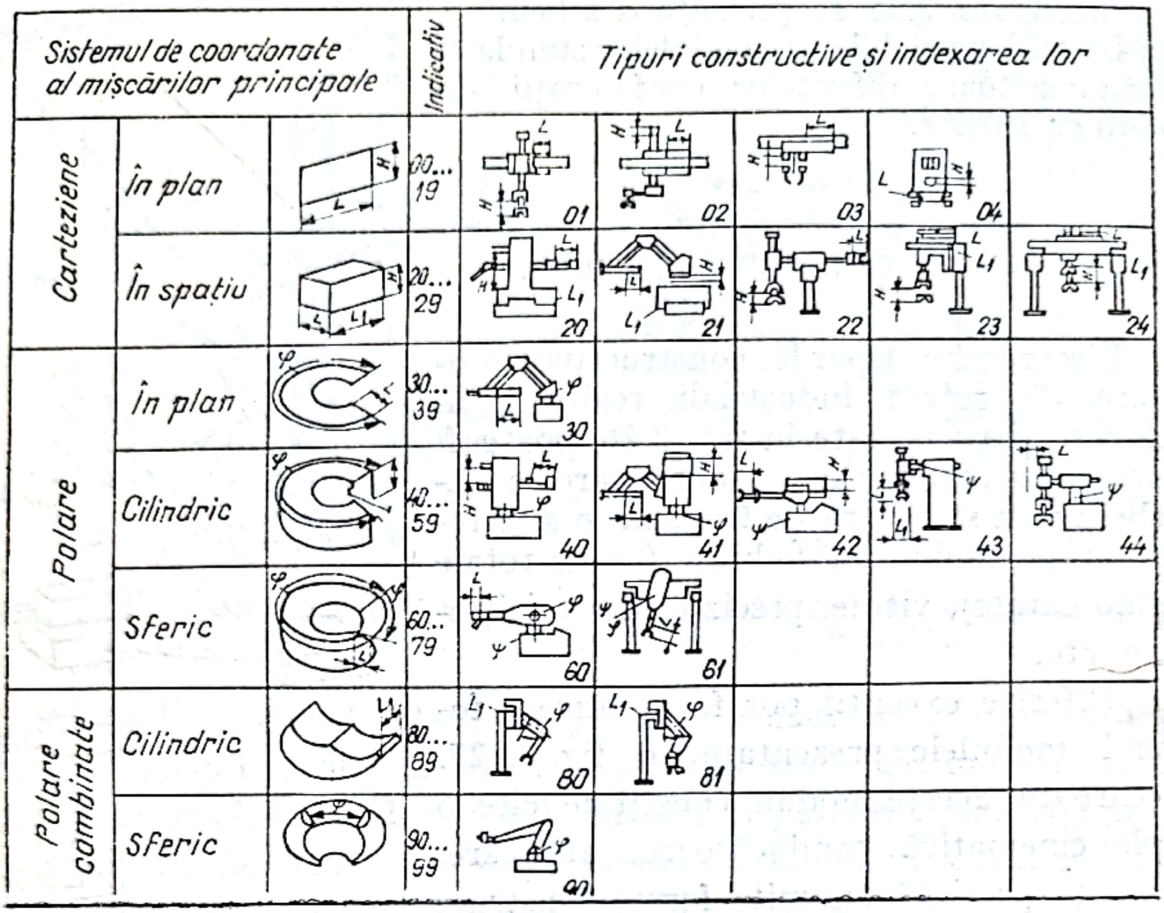


Fig. 2.26. Tipuri constructive modulare ale roboților industriali din U.R.S.S.

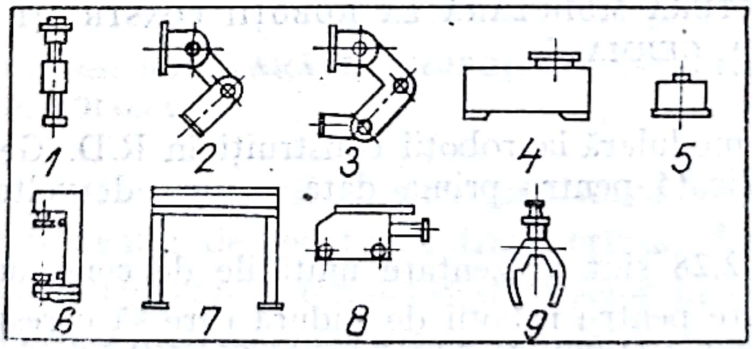


Fig. 2.27. Subansambluri ale sistemului modular de roboți industriali din U.R.S.S.:

1 — Unitate pentru deplasarea liniară; *2* — subansamblul cu două articulații; *3* — subansamblul cu trei articulații; *4* — unitate de rolare; *5* — sistem de rrglare în înălțime; *6* — unitate de glisare; *7* — portal; *8* — masă; *9* — graifăr.

Scanned with OKEN Scanner

asigurată de un motor de curent continuu avînd turație reglabilă într-un domeniu de 1:30 și un reductor în 2 trepte melc-roată melcată și pinion-cremalieră, la care preluarea jocurilor se face în sistemul pinion secționat și arcuri.

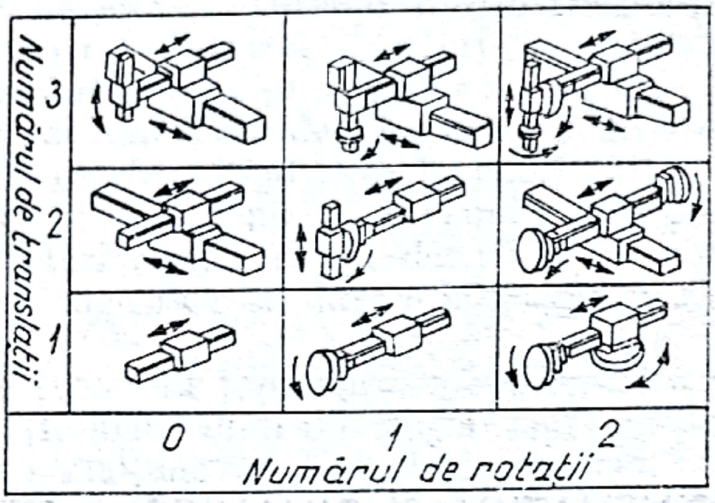


Fig. 2.28. Structura modulară a roboților construiți în R.D.G.

Unitățile de rotație sînt echipate de asemenea cu sisteme de acționare și poziționare proprii.

Batiul se realizează din unități pasive ale chesonului de construcție mai veche, ZIS 650, utilizat la primele tipuri de roboți de sudură la Institutul central pentru tehnica sudurii din Halle [93].

Din analiza concepției de fabricare a roboților industriali după exemplele descrise mai înainte, rezultă o serie de avantaje decisive ale structurii modulare în comparație cu structurile standard. Fundamentul în această privință îl constituie faptul că suplețea structurilor modulare permite ca, pentru o operație de lucru dată, să se aleagă structura optimă a robotului, pentru obținerea unei eficiențe maxime sub raport tehnico-economic.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 3

ANALIZA CINEMATICĂ ȘI DINAMICĂ A STRUCTURILOR MECANICE DE MANIPULARE AUTOMATĂ

Etapa de analiză a mecanismelor spațiale active, folosite la manipulatoare și roboți industriali, este importantă în faza de proiectare a structurilor mecanice și a sistemelor lor de comandă.

Rezultatul analizei este format din modelele matematice (geometric, cinematic și dinamic) ale structurii mecanice. Modelul geometric și cinematic reprezintă legătura între pozițiile și vitezele corpului condus exprimate în coordonate carteziene (coordonate operaționale) și pozițiile și vitezele generalizate (coordonate robot).

Modelul dinamic face legătura între forțele care acționează asupra corpurilor componente ale structurii mecanice și mișcarea imprimată acestor corpuri.

Pentru structuri mecanice reale, cu șase sau mai multe grade de libertate, modelarea trebuie să fie asistată de calculator, deoarece este foarte laborioasă și cu probabilitate mare de eroare.

În acest capitol se prezintă elementele de bază ale anaizei cinematice și dinamice, aplicate structurilor de manipulare și care permit automatizarea procesului de modelare [120, 27, 44, 29, 77, 30, 33, 45].

Scanned with OKEN Scanner

3.1. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA STRUCTURILOR MECANICE DE MANIPULARE AUTOMATĂ

Din punct de vedere teoretic, mecanismele spațiale active folosite la construcția roboților sînt structuri cinematice spațiale complexe (cu lanțuri cinematice deschise și închise), variabile (lanțurile cinematice se pot închide sau deschide pe parcursul mișcării), cu un număr mare de corpuri (unele putînd avea lungimi variabile) și de grade de libertate controlate de sisteme de comandă (analogice sau numerice).

Aceste structuri mecanice sînt descrise matematic de sisteme de ecuații neliniare algebrice și diferențiale, multivariabile și puternic cuplate.

Funcție de structura topologică, mecanismele active se pot clasifica în *simple* (formate dintr-un singur lanț cinematic) și *complexe* (formate dintr-o mulțime de lanțuri cinematice).

Lanțurile cinematice simple pot fi închise sau deschise, iar cele complexe pot fi arborescente (formate numai din lanțuri cinematice simple și deschise) sau combinate (formate din lanțuri cinematice deschise și închise).

În figura 3.1 este prezentată o structură cinematică complexă, combinată. Se pot pune în evidență (fig. 3.1) lanțurile cinematice deschise ($C_1 \to C_2 \to C_4 \to C_6 \to C_8 \to C_{15}$; $C_1 \to C_2 \to C_4 \to C_6 \to C_8 \to C_{16}$; $C_1 \to C_2 \to C_4 \to C_5 \to C_7$; $C_1 \to C_2 \to C_4 \to C_6 \to C_8 \to C_{11} \to C_{12} \to C_{13}$ etc.) și lanțul cinematic închis ($C_2 \to C_4 \to C_6 \to C_9 \to C_{10} \to C_3 \to C_2$).

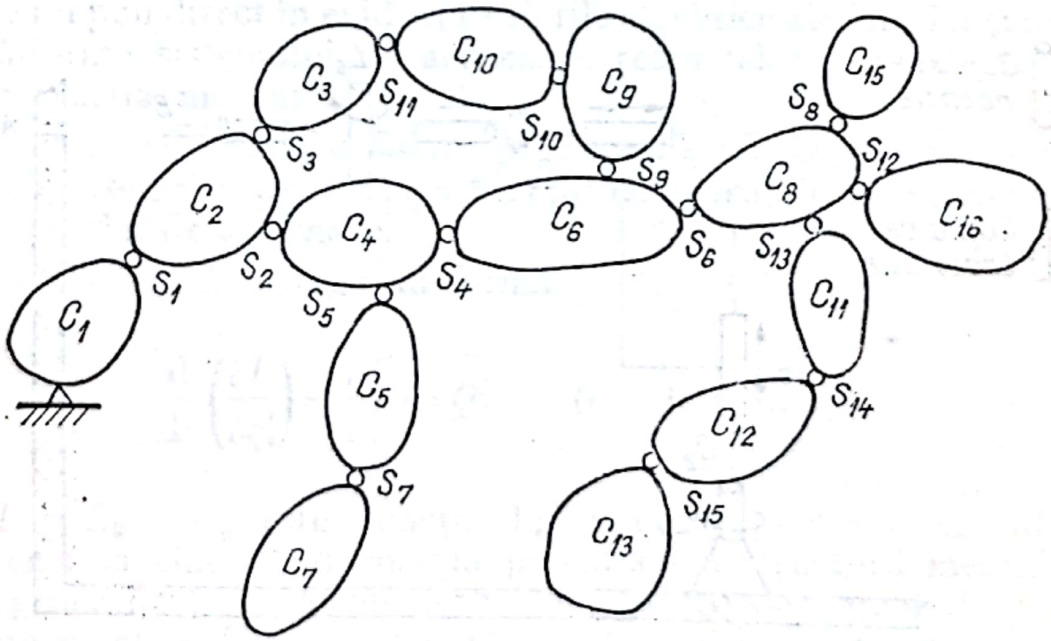


Fig. 3.1. Structură cinematică complexă combinată.

Scanned with OKEN Scanner

Robotul din figura 3.2 are structură de lanț cinematic deschis (în timpul manipulării bolțului B) care se transformă în lanț cinematic închis (la introducerea bolțului B în alezajul A). Corpurile C_2, C_4 care formează legăturile cinematice de translație (articulațiile telescopice L_1, L_3) au lungime variabilă.

Variabilitatea structurii mecanice, numărul mare de grade de libertate (între trei și zece) și acționarea independentă a fiecărui grad de libertate sînt caracteristicile principale care deosebesc roboții de manipulare de mecanismele spațiale clasice.

Una din problemele complexe ale roboticii este modelarea matematică a structurilor mecanice de manipulare automată. Metodele de modelare utilizate pe scară largă se bazează pe formalismele Newton-Euler și Lagrange [120; 27; 29].

Metodele de modelare bazate pe ecuațiile Newton-Euler folosesc ecuațiile de mișcare a fiecărui corp component C_i și ecuațiile de legătură între corpurile succesive C_i, C_{i+1}.

Din punct de vedere istoric se pot enumera următoarele lucrări:

1) H. J. Fletcher, L. Rongved și E. Y. Yu (1963) au studiat mișcarea unui satelit format din două corpuri rigide, sub influența forțelor gravitaționale [43].

2) W. W. Hooker și G. Marquiles (1965) au extins modelarea la structuri de $n + 1$ corpuri articulate prin cuple de rotație sau translație [49].

3) R. E. Roberson și J. Wittenburg au asociat grafuri la structurile cinematice arborescente analizate.

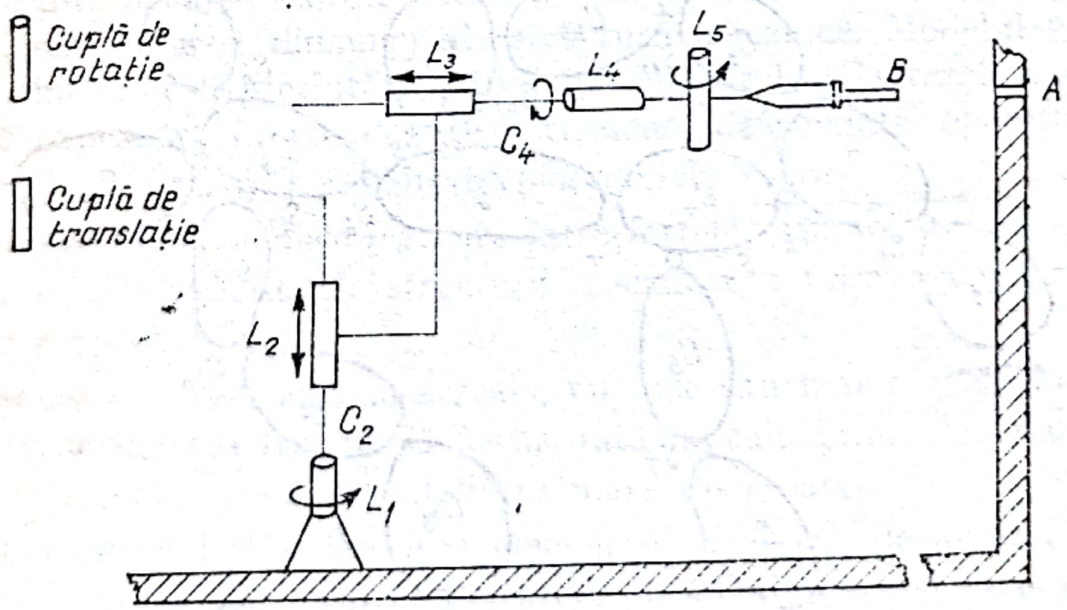


Fig. 3.2. Structură cinematică verticală.

Scanned with OKEN Scanner

Folosirea proprietăților grafurilor a ușurat procesul de analiză a structurilor complexe [106, 34].

4) P. W. Likins a numerotat corpurile componente ale structurii (în ordine crescătoare de la bază spre corpul condus), a atașat corpurilor repere de coordonate și a descompus o cuplă cinematică cu mai multe grade de libertate în cuple cinematice simple cu un singur grad de libertate (rotație sau translație). Perfecționările aduse metodelor precedente au permis simplificarea ecuațiilor de mișcare și exprimarea lor sub formă matriceală [67].

5) J. Wittenburg a generalizat metoda precedentă pentru structuri arborescente în care cuplele de rotație și cele de translație pot avea pînă la trei grade de libertate [122].

6) F. W. Ossenberg (1973) a aplicat metoda lui P. W. Likins și pentru structuri mecanice cu lanțuri cinematice închise.

7) M. Vukobratovič (1982) a prezentat o metodă de generare automată a ecuațiilor de mișcare, implementabilă pe calculator [120, 121].

Metodele enumerate au fost folosite la studiul dinamicii mișcării obiectelor aerospațiale și a roboților industriali. Problemele comenzii mișcării navelor spațiale sau a sateliților sînt asemănătoare cu problemele ridicate de comanda mecanismelor spațiale active folosite la roboții industriali.

Metodele care folosesc ecuațiile Newton-Euler sînt complexe, deoarece necesită eliminarea forțelor și momentelor de legătură între corpurile componente ale structurii de manipulare.

Ele nu pun direct în evidență valorile algebrice ale forțelor și momentelor datorate sistemului de acționare, resoartelor sau amortizoarelor din construcția mecanică.

Metodele de modelare bazate pe formalismul lui Lagrange permit generarea ecuațiilor de mișcare funcție de mărimile de comandă aplicate sistemului de acționare.

Ecuațiile lui Lagrange au forma

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial L}{\partial q_i'}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_a^i \qquad (i = 1, 2, \ldots, n)$$

unde $L = E_k - E_p$ este funcția lui Lagrange definită ca diferența dintre energia cinetică și energia potențială a structurii mecanice, Q_a^i forțele generalizate, care nu derivă din funcții de potențial (forțe și momente externe, forțe de frecare), q_i, q_i' pozițiile și vitezele generalizate, n numărul gradelor de libertate ale structurii de manipulare.

Scanned with OKEN Scanner

Din punct de vedere istoric se pot enumera următoarele lucrări, care folosesc în procedurile de modelare formalismul Lagrange:

1) J. J. Uicker (1968) a generat ecuațiile de mișcare a structurilor mecanice arbitrare (legături cinematice de rotație sau translație) sub formă matriceală [119, 44].

2) M. E. Kahn [59], A. K. Bejczy și R. A. Lewis [9] au dezvoltat metoda propusă de J. J. Uicker și au aplicat-o pentru diferite structuri particulare.

3) M. Renaud (1977, 1980) a dezvoltat metoda matricială de calcul a ecuațiilor lui Lagrange pentru structuri mecanice arborescente [103].

4) J. Zabala (1978) a propus un algoritm de automatizare a modelării structurilor mecanice arborescente, folosind metodele dezvoltate de M. Renaud [123].

5) A. Davidoviciu, Gh. Drăgănoiu, A. Moangă (1982) au dezvoltat o metodă originală de automatizare a modelării structurilor mecanice complexe (cu lanțuri cinematice închise și deschise), bazată pe grupe minimale [27, 29, 30, 33, 34, 35].

Metodele amintite au reprezentat contribuții la procesul de automatizare a modelării structurilor mecanice de manipulare.

3.2. MODELAREA ASISTATĂ DE CALCULATOR A MECANISMELOR SPAȚIALE ACTIVE

Pe parcursul capitolului 3 se vor prezenta elementele de bază ale metodelor de modelare asistată de calculator a mecanismelor spațiale active, așa cum au fost ele dezvoltate de M. Vukobratovič în lucrările [120, 121]. Prin model matematic asociat structurii mecanice se înțelege sistemul de ecuații algebrice sau diferențiale care descrie mișcarea structurii.

Pentru automatizarea procesului de modelare, metodele folosite trebuie să îndeplinească unele caracteristici fundamentale, cum ar fi:

— utilizarea ca date de intrare a parametrilor topologici, a parametrilor geometrici, masici și de inerție și a stării inițiale (poziția și viteza inițială);

— algoritmii de modelare să excludă diferențierea numerică (să folosească diferențierea simbolică) etc.;

Scanned with OKEN Scanner

Pentru prezentarea principiilor generale a metodelor de modelare asistată de calculator se presupune o structură mecanică cu n grade de libertate și m corpuri rigide $(C_i, i = 1, ..., m)$.

Scopul metodelor de modelare este generarea funcțiilor $\mathbf{f}$ și $\mathbf{g}$, care definesc ecuațiile

$$\mathbf{u}'' = \mathbf{f}(\mathbf{u}, \mathbf{u}', \mathbf{P}, \gamma) \tag{3.1}$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{g}(\mathbf{u}, \mathbf{u}', \mathbf{u}'', \gamma) \tag{3.2}$$

unde vectorul $\mathbf{u}$ este format din variabilele care determină poziția mecanismului activ ($\mathbf{u}'$ — viteză, $\mathbf{u}''$ — accelerație); $\mathbf{P}$ este vectorul forțelor și momentelor motoare; γ este vectorul care descrie structura topologică și parametrii structurali (geometrici, masici, de inerție) ai mecanismului analizat.

Vectorul $\mathbf{u}$ poate fi compus din coordonatele generalizate

$$\mathbf{u} = \mathbf{q} = (q_1 \dots q_n)^T \in R^n$$

sau pozițiile și orientările tuturor corpurilor componente

$$\mathbf{u} = (x_1 y_1 z_1 \theta_1 \psi_1 \varphi_1 \dots x_m y_m z_m \theta_m \psi_m \varphi_m)^T \in R^{6m}.$$

Funcțiile $\mathbf{f}$ și $\mathbf{g}$ reprezintă algoritmii complecși de calcul pentru vectorul $\mathbf{u}''$ cînd se cunosc vectorii $\mathbf{u}$, $\mathbf{u}'$, $\mathbf{P}$ și γ, sau pentru calculul vectorului $\mathbf{P}$ cînd se cunosc vectorii $\mathbf{u}$, $\mathbf{u}'$, $\mathbf{u}''$ și γ. Algoritmii care determină funcțiile $\mathbf{f}$ și $\mathbf{g}$ (modelele dinamice directe și inverse) sînt specific metodei de modelare utilizată.

Mișcarea structurii mecanice este studiată pe intervalul de timp T

$$T = [t_0 \leqslant t_1 \leqslant t_2 \dots \leqslant t_f]; \quad \Delta t_k = t_k - t_{k-1}.$$

Problema dinamică inversă cere determinarea mișcării mecanismului spațial $\mathbf{u}(t)$, cînd este cunoscut vectorul forțelor și momentelor de acționare $\mathbf{P}(t)$, precum și starea lui inițială $\mathbf{u}(t_0)$, $\mathbf{u}'(t_0)$.

Folosind algoritmii notați generic cu $\mathbf{f}$ se calculează accelerația mișcării la momentul inițial t_0

$$\mathbf{u}''(t_0) = \mathbf{f}(\mathbf{u}(t_0), \mathbf{u}'(t_0), \mathbf{P}(t_0), \gamma)$$

care este presupusă constantă pe intervalul de timp Δt_1. Prin integrarea accelerației se obțin poziția și viteza structurii analizate

$$\mathbf{u}(t_0 + \Delta t_1) = 0{,}5\, \mathbf{u}''(t_0)\, \Delta t_1^2 + \mathbf{u}'(t_0)\, \Delta t_1 + \mathbf{u}(t_0)$$

$$\mathbf{u}'(t_0 + \Delta t_1) = \mathbf{u}''(t_0)\, \Delta t_1 + \mathbf{u}'(t_0)$$

Scanned with OKEN Scanner

În acest fel se calculează starea mecanismului (poziția și viteza) la noul interval de timp $t_1 = t_0 + \Delta t_1$, care se utilizează din nou pentru calcularea accelerației $\mathbf{u}''(t_1)$. Procedura se folosește iterativ pînă la timpul final t_f, obținîndu-se mișcarea structurii mecanice $\mathbf{u}(t)$, $\mathbf{u}'(t)$, $t \in [t_0, t_f]$.

Problema dinamică directă presupune mișcarea mecanismului cunoscută $\mathbf{u}''(t)$, $\mathbf{u}'(t)$, $\mathbf{u}(t)$, $t \in [t_0, t_f]$ și cere calcularea funcțiilor, momentelor motoare $\mathbf{P}(t)$, folosind mulțimea algoritmilor notați generic cu $\mathbf{g}$. Diferențele dintre algoritmii $\mathbf{f}$ și $\mathbf{g}$ sînt datorate în primul rînd formalismelor mecanice folosite (Newton-Euler, Lagrange, Appel etc.).

În continuare, se vor prezenta metodele de modelare bazate pe formalismul Newton-Euler (v. § 3.3.) și Lagrange (v. § 3.4).

3.3. METODE DE MODELARE BAZATE PE FORMALISMUL NEWTON-EULER

Poziția unui mecanism spațial activ cu n grade de libertate este caracterizată de vectorul coordonatelor generalizate

$$\mathbf{q} = (q_1, \ldots, q_n)^T \in R^n$$

Dinamica unui astfel de mecanism, descrisă în formă matriceală, este

$$\mathbf{W}\mathbf{q}'' = \mathbf{P} + \mathbf{U} \tag{3.3}$$

unde $\mathbf{P}$ este vectorul forțelor și cuplurilor motoare, $\mathbf{W} \in R^{n \times n}$ o matrice * depinzînd de coordonatele generalizate $\mathbf{q}$, $\mathbf{U} \in R^n$ un vector care depinde de starea mecanismului $(\mathbf{q}, \mathbf{q}')$.

Algoritmii de modelare au ca rezultat calcularea matricelor $\mathbf{W}(\mathbf{q})$, $\mathbf{U}(\mathbf{q}, \mathbf{q}')$, bazîndu-se pe formalismul Newton-Euler sau Lagrange. Forma (3.3) a modelului dinamic poate fi adusă la formele generale (3.1) și (3.2)

$$\mathbf{q}'' = \mathbf{f}(\mathbf{q}, \mathbf{q}', \mathbf{P}, \gamma) = \mathbf{W}^{-1}(\mathbf{P} + \mathbf{U})$$

$$\mathbf{P} = \mathbf{g}(\mathbf{q}, \mathbf{q}', \mathbf{q}'', \gamma) = \mathbf{W}\mathbf{q}'' - \mathbf{U}.$$

Pentru simplitatea prezentării, se consideră un lant cinematic deschis (fig. 3.3) format din n corpuri rigide. Între fiecare două corpuri succesive există numai un grad de libertate, care poate fi de translație sau rotație. O cuplă cinematică de rotație S_i (fig. 3.4) permite o rotație relativă în jurul unei axe determinate de vectorul unitar $\mathbf{e}_i$. O cuplă

---

* A nu se confunda cu vectorii, care sînt notați de asemenea cu litere îngroșate. Observația este valabilă pentru întreaga lucrare.

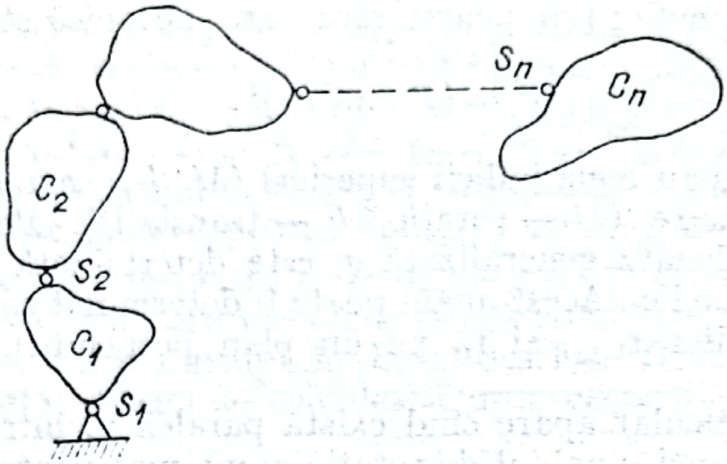


Fig. 3.3. Lanț cinematic deschis.

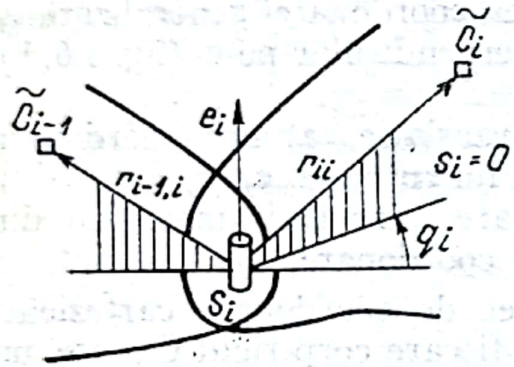


Fig. 3.4. Cuplă cinematică de rotație.

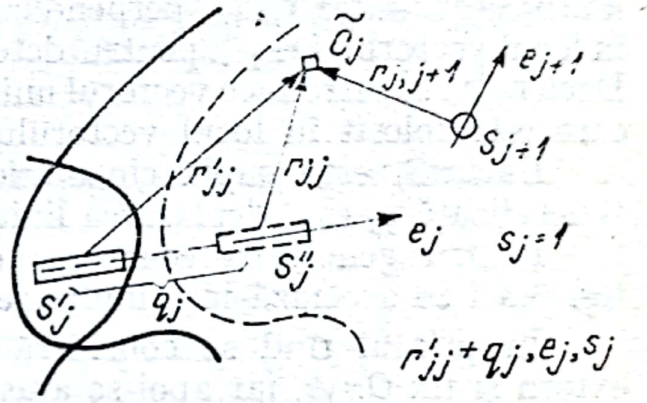


Fig. 3.5. Cuplă cinematică de translație.

cinematică de translație S_j (fig. 3.5) permite o mișcare de translație relativă de-a lungul unei axe determinate de vectorul unitar $\mathbf{e}_j$.

În figurile 3.4 și 3.5 s-au notat cu $\tilde{C}_i$, $\tilde{C}_j$ centrele de masă ale corpurilor C_i, C_j, iar cu s_i, s_j parametrii care indică tipul cuplei cinematice:

$$s_k = \begin{cases} 0, \text{ dacă } S_k \text{ este cuplă cinematică de rotație;} \\ 1, \text{ dacă } S_k \text{ este cuplă cinematică de translație.} \end{cases}$$

În continuare, se presupune că în fiecare cuplă cinematică este montat cîte un motor de acționare.

Cuplul $\mathbf{P}_i$ care acționează în cupla de translație S_i este dat de relația

$$\mathbf{P}_i = P_i^M \mathbf{e}_i.$$

iar forța $\mathbf{P}_j$ care acționează în cupla de translație S_j de relația

$$\mathbf{P}_j = P_j^F \mathbf{e}_j$$

unde e_i, e_j sînt versorii axelor de coordonate.

Scanned with OKEN Scanner

Vectorul de acționare, pentru structura mecanică studiată, este

$$\mathbf{P} = (P_1, \ldots, P_n)^T. \tag{3.4}$$

În relația (3.4) s-au omis indicii superiori (M, F), care reprezintă tipul cuplei de acționare (M — rotație, F — translație). Pentru cupla de rotație S_i, coordonata generalizată q_i este determinată de unghiul de rotație în jurul axei $\mathbf{e}_i$. Acest unghi poate fi determinat ca unghiul dintre proiecția vectorilor $\mathbf{r}_{i-1,\,i}$ și $\mathbf{r}_{ii}$ pe un plan perpendicular pe axa $\mathbf{e}_i$ (fig. 3.4).

Un caz particular apare cînd există paralelism între vectorii $\mathbf{r}_{ii} \| \mathbf{e}_i$ sau $\mathbf{r}_{i-1,\,i} \| \mathbf{e}_i$. Atunci unghiul de rotație q_i nu mai poate fi determinat în planul perpendicular pe axa $\mathbf{e}_i$. Dacă $\mathbf{r}_{i-1,\,i} \| \mathbf{e}_i$, atunci se introduce un nou vector unitar $\mathbf{r}^*_{i-1,\,i}$ perpendicular pe $\mathbf{e}_i$ (fig. 3.6, *a*), care este folosit în locul vectorului $\mathbf{r}_{i-1,\,i}$, pentru determinarea coordonatei generalizate q_i. Dacă $\mathbf{r}_{ii} \| \mathbf{e}_i$, se introduce vectorul unitar $\mathbf{r}^*_{ii}$ perpendicular pe $\mathbf{e}_i$ (fig. 3.6, b), care este folosit în locul vectorului $\mathbf{r}_{ii}$.

Dacă S_j este cuplă cinematică de translație, atunci coordonata generalizată q_j este deplasarea liniară de-a lungul axei $\mathbf{e}_j$ ($q_j = |S'_j S''_j|$).

Pentru generarea ecuațiilor de mișcare, structurii mecanice din fig. 3.3 i se asociază mai multe repere de coordonate.

În primul rînd se consideră un reper de coordonate carteziene, extern și fix $Oxyz$, iar apoi se atașează de fiecare corp rigid C_i, cîte un reper cartezian de coordonate $O_i x_i y_i z_i$. Originile O_i ale reperelor se aleg în centrele de masă C_i^*, iar axele reperului se aleg în lungul axelor principale de inerție ale corpului C_i.

Un vector corespunzător corpului C_i se notează cu $\mathbf{a}_i$ dacă este exprimat în reperul fix $Oxyz$, cu $\tilde{\mathbf{a}}_i$, dacă este exprimat în reperul mobil $O_i x_i y_i z_i$ și cu $\underset{\sim}{\mathbf{a}}_i$ dacă este exprimat în reperul $\mathbf{O}_{i-1}\mathbf{x}_{i-1}\mathbf{y}_{i-1}\mathbf{z}_{i-1}$.

Legătura dintre vectorii $\mathbf{a}_i$, $\tilde{\mathbf{a}}_i$, $\underset{\sim}{\mathbf{a}}_i$ se realizează cu ajutorul matricelor de transformări de coordonate (matrice de tranziție) $\mathbf{A}_i$, $\mathbf{A}_{i-1,\,i}$, $\mathbf{A}_{i,\,i-1}$ [78, 80, 81]

$$\mathbf{a}_i = \mathbf{A}_i \tilde{\mathbf{a}}; \quad \underset{\sim}{\mathbf{a}}_i = \mathbf{A}_{i-1,\,i} \tilde{\mathbf{a}}_i; \quad \tilde{\mathbf{a}}_i = \mathbf{A}^{-1}_{i-1,\,i} \underset{\sim}{\mathbf{a}}_i = \mathbf{A}_{i,\,1-i} \underset{\sim}{\mathbf{a}}_i.$$

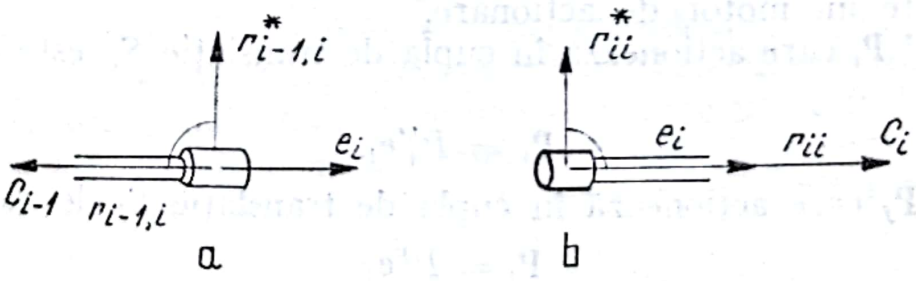


Fig. 3.6. Cuple cinematice particulare de rotație.

Scanned with OKEN Scanner

Se observă că vectorii $\tilde{\mathbf{r}}_{ii}$, $\tilde{\mathbf{r}}_{i,i+1}$ (fig. 3.4; fig. 3.5) sînt constanți în reperele legate de corpurile C_i, iar axele $\mathbf{e}_i$ ale cuplelor cinematice S_i au poziții constante față de sistemele de coordonate legate de corpurile C_i și C_{i-1}, deci și vectorii $\tilde{\mathbf{e}}_i$ și $\underset{\sim}{\mathbf{e}}_i$ sînt constanți. Vectorii constanți $\tilde{\mathbf{r}}_{ii}$, $\tilde{\mathbf{r}}_{i,i+1}$, $\tilde{\mathbf{e}}_i$, $\underset{\sim}{\mathbf{e}}_i$, care determină geometria corpului și a cuplei S_i, trebuie definiți ca date de intrare pentru întreaga structură mecanică.

Matricele de transformări de coordonate $\mathbf{A}_i$ se calculează recurent, plecînd de la baza structurii mecanice și adăugînd cîte un corp, pînă se construiește întreg mecanismul în lanț deschis. Dacă matricea $\mathbf{A}_{i-1}$ a fost determinată, atunci se calculează ușor vectorii

$$\mathbf{r}_{i-1,i} = \mathbf{A}_{i-1}\tilde{\mathbf{r}}_{i-1,i}; \quad \mathbf{e}_i = \mathbf{A}_{i-1}\underset{\sim}{\mathbf{e}}_i$$

Algoritmii de calcul al matricelor $\mathbf{A}_i$ se studiază separat, funcție de tipul cuplei cinematice (rotație sau translație).

3.3.1. CALCULUL MATRICELOR DE TRANZIȚIE $\mathbf{A}_i$ PENTRU CUPLE S_i DE ROTAȚIE

Pentru cupla cinematică de rotație, se calculează întîi vectorii (fig. 3.7, *a*, *b*) [78, 81]

$$\mathbf{a}_i = \frac{-\mathbf{e}_i \times (\mathbf{r}_{i-1,i} \times \mathbf{e}_i)}{|\mathbf{e}_i \times (\mathbf{r}_{i-1,i} \times \mathbf{e}_i)|} \tag{3.5}$$

$$\tilde{\mathbf{a}}_i = \frac{\tilde{\mathbf{e}}_i \times (\tilde{\mathbf{r}}_{ii} \times \tilde{\mathbf{e}}_i)}{|\tilde{\mathbf{e}}_i \times (\tilde{\mathbf{r}}_{ii} \times \tilde{\mathbf{e}}_i)|}. \tag{3.6}$$

Cu ajutorul vectorilor $\mathbf{a}_i$, $\tilde{\mathbf{a}}_i$ (3.5) (3.6) se generează vectorii:

$$\mathbf{b}_i = \mathbf{e}_i \times \mathbf{a}_i, \quad \tilde{\mathbf{b}}_i = \tilde{\mathbf{e}}_i \times \tilde{\mathbf{a}}_i \tag{3.7}$$

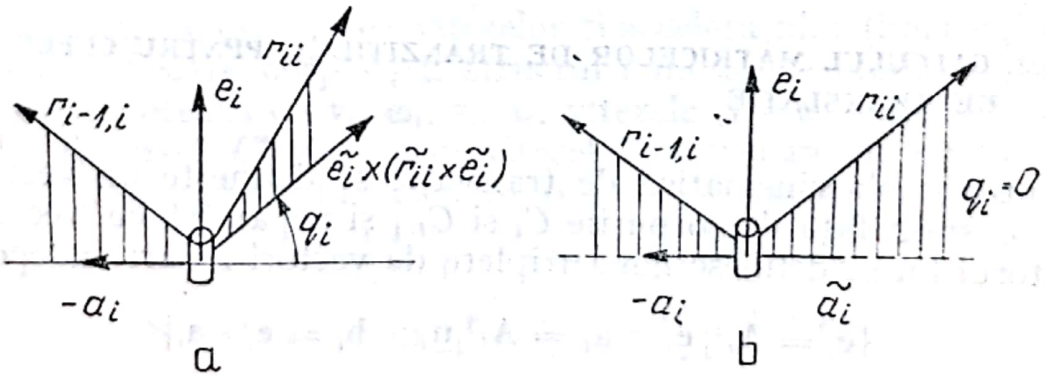


Fig. 3.7. Determinarea matricelor de tranziție A_i.

Scanned with OKEN Scanner

Folosind relațiile (3.5) (3.7) s-au generat două mulțimi de vectori liniar independenți

$$\{\mathbf{e}_i, \mathbf{a}_i, \mathbf{b}_i\} \quad \text{și} \quad \{\tilde{\mathbf{e}}_i, \tilde{\mathbf{a}}_i, \tilde{\mathbf{b}}_i\}.$$

Dacă se notează cu $\mathbf{A}_i^0$ matricea corespunzătoare coordonatei generalizate $q_i = 0$, atunci rezultă

$$\mathbf{e}_i = \mathbf{A}_i^0 \tilde{\mathbf{e}}_i, \quad \mathbf{a}_i = \mathbf{A}_i^0 \tilde{\mathbf{a}}_i, \quad \mathbf{b}_i = \mathbf{A}_i^0 \tilde{\mathbf{b}}_i \tag{3.8}$$

Trecînd la notația matriceală, relația (3.8) devine

$$[\mathbf{e}_i\, \mathbf{a}_i\, \mathbf{b}_i] = \mathbf{A}_i^0 [\tilde{\mathbf{e}}_i\, \tilde{\mathbf{a}}_i\, \tilde{\mathbf{b}}_i] \tag{3.9}$$

sau

$$\mathbf{A}_i^0 = [\mathbf{e}_i\, \mathbf{a}_i\, \mathbf{b}_i]\, [\tilde{\mathbf{e}}_i\, \tilde{\mathbf{a}}_i\, \tilde{\mathbf{b}}_i]^{-1} = [\mathbf{v}_{i1} \mathbf{v}_{i2} \mathbf{v}_{i3}]. \tag{3.10}$$

Coloanele $\mathbf{v}_{i1}$, $\mathbf{v}_{i2}$, $\mathbf{v}_{i3}$ ale matricei $\mathbf{A}_i^0$ reprezintă versorii axelor reperului de coordonate atașat corpului C_i, cînd $q_i = 0$.

Pentru calcularea matricei $\mathbf{A}_i$ la valori $q_i \neq 0$ se aplică rotații în jurul axelor $(\mathbf{v}_{i1}, \mathbf{v}_{i2}, \mathbf{v}_{i3})$ ale reperului de coordonate legat de corpul C_i:

$$\mathbf{V}_{ij} = \mathbf{v}_{ij} \cos q_i + (1 - \cos q_i)\, (\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{v}_{ij})\, \mathbf{e}_i + \mathbf{e}_i \times \mathbf{v}_{ij} \sin q_{ij} \quad (j = 1, 2, 3) \tag{3.11}$$

unde $\mathbf{V}_{ij}$ este coloana j a matricei, după efectuarea unei rotații de unghi q_i, iar relația (3.11) este cunoscută și sub numele de formula lui Rodriques [120].

Din cele prezentate anterior, rezultă matricea de transformare de coordonate (matricea de tranziție)

$$\mathbf{A}_i = [\mathbf{V}_{i1}\, \mathbf{V}_{i2}\, \mathbf{V}_{i3})].$$

3.3.2. CALCULUL MATRICELOR DE TRANZIȚIE $\mathbf{A}_i$ PENTRU CUPLE S_i DE TRANSLAȚIE

Pentru cupla cinematică de translație se definește un vector unitar $\mathbf{u}_i$, constant față de corpurile C_i și C_{i-1} și neparalel cu vectorul $\mathbf{e}_i$. Cu ajutorul lui se definesc două triplete de vectori liniari independenți

$$\{\mathbf{e}_i = \mathbf{A}_{i-1} \mathbf{e}_i; \quad \mathbf{a}_i = \mathbf{A}_{i-1} \mathbf{u}_i; \quad \mathbf{b}_i = \mathbf{e}_i \times \mathbf{a}_i\}$$

$$\{\tilde{\mathbf{e}}_i; \quad \tilde{\mathbf{a}}_i = \tilde{\mathbf{u}}_i; \quad \tilde{\mathbf{b}}_i = \tilde{\mathbf{e}}_i \times \tilde{\mathbf{a}}_i\}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Deoarece mișcarea este numai de translație, rezultă imediat matricea de tranziție

$$\mathbf{A}_i = [\mathbf{e}_i\ \mathbf{a}_i\ \mathbf{b}_i]\,[\tilde{\mathbf{e}}_i\ \tilde{\mathbf{a}}_i\ \tilde{\mathbf{b}}_i]^{-1}.$$

3.3.3. DATELE DE INTRARE PENTRU ANALIZA CINEMATICĂ ȘI DINAMICĂ (FORMALISMUL NEWTON-EULER)

Sintetizînd elementele fundamentale prezentate anterior se pot enumera caracteristicile structurii mecanice analizate (fig. 3.3):

— n este numărul gradelor de libertate egal cu numărul de corpuri rigide și de cuple cinematice motoare;

— s_i $(i = 1, ..., n)$, $(s_i = 0$ sau $s_i = 1)$ este un parametru care determină tipul cuplei cinematice (rotație sau translație);

— $\mathbf{e}_i$, $\underset{\sim}{\mathbf{e}}_i$ $(i = 1, ..., n)$ determină orientarea axei cuplei cinematice față de corpurile componente;

— $\tilde{\mathbf{r}}_{ii}$, $\tilde{\mathbf{r}}_{i,i+1}(i = 1, ..., n)$ și $\mathbf{r}_{01}$ determină poziția cuplei cinematice față de centrul de masă al corpului rigid C_i;

— $\tilde{\mathbf{r}}^*_{ii}$, $\tilde{\mathbf{r}}^*_{i,i+1}$ sînt vectorii definiți în figura 3.6, în cazul cuplelor de rotație particulare;

— m_i, $\tilde{\mathbf{J}}_i(i = 1, ..., n)$ sînt masa și tensorul de inerție al corpului C_i în raport de reperul de coordonate mobil, atașat rigid de C_i;

— $q_i(t_0)$, $q_i'(t_0)$ este starea inițială a mecanismului activ, descrisă de poziția și viteza generalizată la momentul t egal cu t_0.

Funcție de tipul problemei dinamice de rezolvat (directe sau inverse) se consideră ca date de intrare și accelerațiile generalizate $\mathbf{q}''(t_k)$, $(k = 0, 1, ..., k_f)$ sau forțele (momentele) motoare $\mathbf{P}(t_k)$, $(k = 0, 1, ..., k_f)$.

3.3.4. ANALIZA CINEMATICĂ (FORMALISMUL NEWTON-EULER)

Presupune determinarea vitezelor și accelerațiilor (liniare și unghiulare) pentru fiecare corp C_i a structurii mecanice studiate (fig. 3.3).

Dacă se notează cu $\mathbf{v}_i$, $\boldsymbol{\omega}_i$, $\boldsymbol{\varepsilon}_i$, $\mathbf{w}_i$ vitezele și accelerațiile liniare ale centrului de masă C_i^*, respectiv vitezele și accelerațiile de rotație ale corpului C_i, se pot obține următoarele relații recurente [78]

$$\boldsymbol{\omega}_i = \boldsymbol{\omega}_{i-1} + q_i'\mathbf{e}_i(1 - s_i) \tag{3.12}$$

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{v}_{i-1} - \boldsymbol{\omega}_{i-1} \times \mathbf{r}_{i-1,i} + \boldsymbol{\omega}_i \times \hat{\mathbf{r}}_{ii} + q_i'\mathbf{e}_i s_i \tag{3.13}$$

$$\hat{\tilde{\mathbf{r}}}'_{ii} = \tilde{\mathbf{r}}_{ii} + q_i\tilde{\mathbf{e}}_i s_i$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\boldsymbol{\varepsilon}_i = \boldsymbol{\varepsilon}_{i-1} + (q_i' \mathbf{e}_i + q_i' \boldsymbol{\omega}_{i-1} \times \mathbf{e}_i)(1 - s_i) \tag{3.14}$$

$$\mathbf{w}_i = \mathbf{w}_{i-1} - \boldsymbol{\varepsilon}_{i-1} \times \mathbf{r}_{i-1,i} - \boldsymbol{\omega}_{i-1} \times (\boldsymbol{\omega}_{i-1} \times \mathbf{r}_{i-1,i}) + \\ + \boldsymbol{\varepsilon}_i \times \hat{\mathbf{r}}_{ii} + \boldsymbol{\omega}_i \times (\boldsymbol{\omega}_i \times \hat{\mathbf{r}}_{ii}) + (q_i'' \mathbf{e}_i + 2\boldsymbol{\omega}_{i-1} \times \mathbf{e}_i q_i') s_i \tag{3.15}$$

cu condițiile la limită

$$\mathbf{v}_0 = 0, \quad \boldsymbol{\omega}_0 = 0, \quad \boldsymbol{\varepsilon}_0 = 0, \quad \mathbf{w}_0 = 0.$$

3.3.5. ANALIZA DINAMICĂ (FORMALISMUL NEWTON-EULER)

Reprezintă determinarea ecuațiilor de mișcare a structurii mecanice de manipulare, mai exact, calcularea matricelor $\mathbf{W}(\mathbf{q})$, $\mathbf{U}(\mathbf{q}, \mathbf{q}')$ din relația (3.3) pe baza teoremelor generale ale mișcării corpului rigid

$$m_i \mathbf{w}_i = \mathbf{F}_i$$

$$\mathbf{J}_i \boldsymbol{\varepsilon}_i + \boldsymbol{\omega}_i \times (\mathbf{J}_i \boldsymbol{\omega}_i) = \mathbf{M}_i \quad (i = 1, \ldots, n)$$

unde $\mathbf{F}_i$ și $\mathbf{M}_i$ sînt forța și momentul total care acționează asupra corpului C_i. Relațiile analizei dinamice se vor determina separat pentru cuplele cinematice de rotație ($s_k = 0$) și pentru cele de translație ($s_k = 1$).

Se presupune că lanțul cinematic este întrerupt fictiv (fig. 3.8) în cupla $S_k (s_k = 0)$ și se consideră substructura rămasă de la cupla S_k pînă la corpul condus C_n. Substructura de la baza mecanismului pînă la cupla S_k este înlocuită cu forța $\mathbf{F}_{Rk}$ și momentul $\mathbf{M}_{Rk}$ de reacție ($\mathbf{M}_{Rk} \perp \mathbf{e}_k$). Considerînd că toate momentele se calculează față de axa cuplei S_k (fig. 3.8), rezultă relația

$$\sum_{i=k}^{n} \mathbf{r}_i^{(k)} \times m_i \mathbf{w}_i + \sum_{i=k}^{n} \mathbf{M}_i = \mathbf{P}_k + \mathbf{M}_{Rk} + \sum_{i=k}^{n} \mathbf{r}_i^{(k)} \times m_i \mathbf{g} \tag{3.16}$$

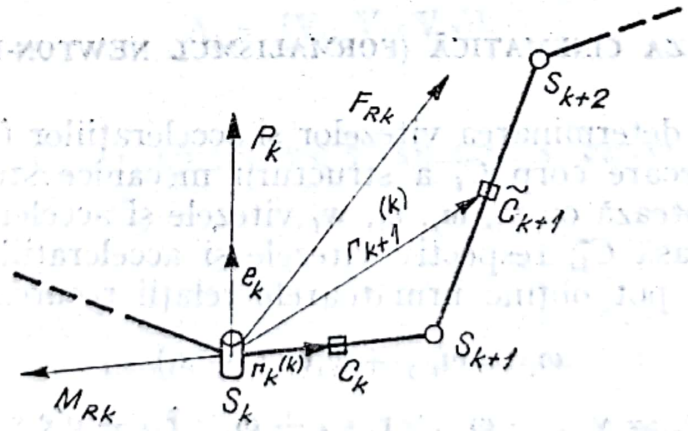


Fig. 3.8. Analiza dinamică pentru structura mecanică cu cuple cinematice de rotație

Scanned with OKEN Scanner

sau

$$\sum_{i=k}^{n} (\mathbf{r}_i^{(k)} \times m_i \mathbf{w}_i - \mathbf{r}_i^{(k)} \times m_i \mathbf{g}) + \sum_{i=k}^{n} \mathbf{M}_i = \mathbf{P}_k + \mathbf{M}_{Rk} \tag{3.17}$$

unde $\mathbf{g}$ este vectorul accelerației gravitaționale, iar vectorul $\mathbf{r}_i^{(k)} = S_k C_i$ este definit în figura 3.8.

Momentul $\mathbf{M}_i$ se determină cu ecuația lui Euler

$$\mathbf{M}_i = \mathbf{A}_i \widetilde{\mathbf{M}}_i; \quad \widetilde{\mathbf{M}}_i = \mathbf{J}_i \widetilde{\boldsymbol{\varepsilon}}_i - (\mathbf{J}_i \widetilde{\boldsymbol{\omega}}_i) \times \widetilde{\boldsymbol{\omega}}_i. \tag{3.18}$$

Făcînd produsul scalar între vectorul $\mathbf{e}_k$ și relația (3.17) se obține

$$\sum_{i=k}^{n} \underbrace{((\mathbf{r}_i^{(k)} \times m_i \mathbf{w}_i) \cdot \mathbf{e}_k - (\mathbf{r}_i^{(k)} \times m_i \mathbf{g}) \cdot \mathbf{e}_k)}_{B_{ik}} + \sum_{i=k}^{n} \mathbf{M}_i \cdot \mathbf{e}_k = P_k^M \tag{3.19}$$

unde

$$\mathbf{r}_i^{(k)} = S_k C_i^* = \sum_{p=k}^{i-1} (\hat{\mathbf{r}}_{pp} - \mathbf{r}_{p,\,p+1}) + \hat{\mathbf{r}}_{ii}.$$

Pentru toate cele l cuple cinematice de rotație ($l \leqslant n$) se obțin l ecuații scalare de tip (3.19).

În cazul cuplei cinematice S_k de translație se procedează tot la întreruperea lanțului cinematic în S_k (fig. 3.9) și înlocuirea substructurii de la baza mecanismului la corpul C_{k-1} cu forța $\mathbf{F}_{Rk}$ și momentul $\mathbf{M}_{Rk}$ de reacțiune ($\mathbf{F}_{Rk} \perp \mathbf{e}_k$). Pentru substructura mecanică rămasă (de la cupla S_k pînă la corpul condus C_n) se poate scrie relația

$$\sum_{i=k}^{n} m_i \mathbf{w}_i = \mathbf{P}_k + \sum_{i=k}^{n} m_i \mathbf{g} + \mathbf{F}_{Rk}. \tag{3.20}$$

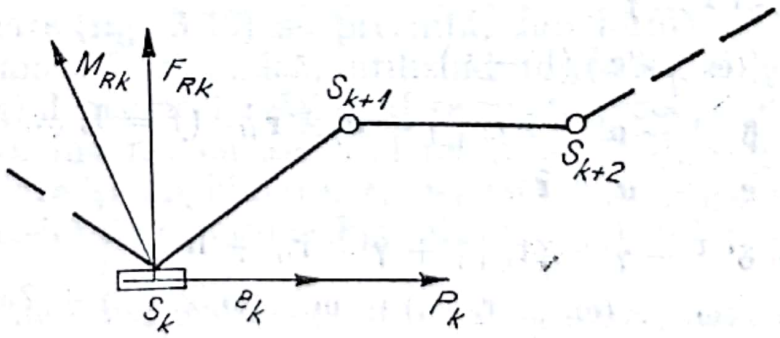


Fig. 3.9. Analiza dinamică pentru structura mecanică cu cuple cinematice de translație.

Scanned with OKEN Scanner

Calculînd produsul scalar între vectorul $\mathbf{e}_k$ și vectorul dat de relația (3.20) se obține

$$\sum_{i=k}^{n} \underbrace{(m_i \mathbf{w}_i \cdot \mathbf{e}_k - m_i \mathbf{g} \cdot \mathbf{e}_k)}_{C_{ik}} = P_k^F. \tag{3.21}$$

Pentru cele m cuple de translație $(m \leqslant n;\ m + l = n)$ se obțin m ecuații scalare de tipul (3.21). Dacă există și alte forțe externe, în afara greutății proprii, ele trebuie reduse față de punctele C_i^* (centrele de masă) și adăugate la forțele de greutate.

Ecuațiile scalare (3.19) și (3.21) se pot scrie sub o formă matriceală, pentru a fi ușor folosite în algoritmi implementabili pe calculator.

Accelerațiile liniare ale centrelor de masă C_i^* și accelerațiile unghiulare ale corpurilor C_i se pot scrie sub formă matriceală [78, 79]

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_i &= \Omega \mathbf{q}'' + \Theta \\ \boldsymbol{\varepsilon}_i &= \Gamma \mathbf{q}'' + \Phi \end{aligned} \tag{3.22}$$

unde matricele Ω, Θ, Γ, Φ au forma

$$\Omega = [\beta_1^i \ldots \beta_i^i 0 \ldots 0] \in R^{3\times n}$$

$$\Gamma = [\alpha_1^i \ldots \alpha_i^i\ 0 \ldots 0] \in R^{3\times n}$$

$$\Theta = [\delta^i] \in R^3; \quad \Phi = [\gamma^i] \in R^3.$$

Matricele Ω, Θ, Γ, Φ se calculează în mod iterativ, prin adăugarea de noi corpuri rigide în lanțul cinematic, pornind de la bază spre corpul condus C_n.

Formulele recurente de calcul sînt prezentate în continuare

$$\begin{cases} \boldsymbol{\alpha}_j^i = \boldsymbol{\alpha}_j^{i-1} & (j = 1, \ldots, i-1) \\ \boldsymbol{\alpha}_i^i = (1 - s_i)\, \mathbf{e}_i \end{cases} \tag{3.23}$$

$$\begin{cases} \boldsymbol{\gamma}^i = \boldsymbol{\gamma}^{i-1} + \mathbf{f} \\ \mathbf{f} = q_i'(\boldsymbol{\omega}_{i-1} \times \mathbf{e}_i)\,(1 - s_i) \end{cases} \tag{3.24}$$

$$\begin{cases} \boldsymbol{\beta}_j^i = \boldsymbol{\beta}_j^{i-1} - \boldsymbol{\alpha}_j^{i-1} \times \mathbf{r}_{i-1,\,i} + \boldsymbol{\alpha}_j^i \times \hat{\mathbf{r}}_{ii} & (j = 1, \ldots, i-1) \\ \boldsymbol{\beta}_i^i = \mathbf{e}_i s_i + \boldsymbol{\alpha}_i^i \times \hat{\mathbf{r}}_{ii} \end{cases} \tag{3.25}$$

$$\begin{cases} \boldsymbol{\delta}^1 = \boldsymbol{\delta}^{i-1} - \boldsymbol{\gamma}^{i-1} \times \mathbf{r}_{i-1,1} + \boldsymbol{\gamma}^i \times \hat{\mathbf{r}}_{ii} + \mathbf{h} \\ \mathbf{h} = -\boldsymbol{\omega}_{i-1} \times (\boldsymbol{\omega}_{i-1} \times \mathbf{r}_{i-1,\,i}) + \boldsymbol{\omega}_i \times (\boldsymbol{\omega}_i \times \hat{\mathbf{r}}_{ii}) + 2\boldsymbol{\omega}_{i-1} \times \mathbf{e}_i s_i q_i' \end{cases} \tag{3.26}$$

unde vectorul $\hat{\mathbf{r}}_{ii}$ este definit în relația (3.13), iar q_i' reprezintă viteza generalizată corespunzătoare gradului i de libertate.

Scanned with OKEN Scanner

Folosirea relațiilor (3.22) în expresiile de definire a coeficienților B_{ik}, C_{ik} (3.19), (3.21) și exprimarea produsului vectorial sub formă matriceală permite generarea relațiilor de calcul sub formă matriceală

$$B_{ij} = \mathbf{e}_j \cdot (\mathbf{r}_i^{(j)} \times m_i \mathbf{w}_i) - \mathbf{e}_j \cdot (\mathbf{r}_i^{(j)} \times m_i \mathbf{g}) \tag{3.27}$$

$$B_{ij} = \underbrace{\mathbf{e}_j^T \mathbf{R}_i^{(j)} m_i \boldsymbol{\Omega}}_{b^T} \mathbf{q}'' + \underbrace{\mathbf{e}_j^T \mathbf{R}_i^{(j)} m_i \boldsymbol{\Theta} - \mathbf{e}_j^T \mathbf{R}_i^{(j)} m_i \, \mathbf{g}}_{v_1} \tag{3.28}$$

unde matricea $\mathbf{R}_i^{(j)}$ are forma

$$\mathbf{R}_i^{(j)} = \begin{bmatrix} 0 & -r_{i3}^{(j)} & r_{i2}^{(j)} \\ r_{i3}^{(j)} & 0 & -r_{i1}^{(j)} \\ -r_{i2}^{(j)} & r_{i1}^{(j)} & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{r}_i^{(j)} = [r_{i1}^{(j)} r_{i2}^{(j)} r_{i3}^{(j)}]^T. \tag{3.29}$$

Expresiile $\mathbf{e}_j \cdot \mathbf{M}_i$, care apar în relația (3.19), sînt și ele transformate în formă matriceală

$$\mathbf{e}_j \mathbf{M}_i = \mathbf{e}_j (\mathbf{A}_i \widetilde{\mathbf{M}}_i) = \mathbf{e}_j [\mathbf{A}_i (\widetilde{\mathbf{J}}_i \widetilde{\boldsymbol{\varepsilon}}_i - (\widetilde{\mathbf{J}}_i \widetilde{\boldsymbol{\omega}}_i) \times \widetilde{\boldsymbol{\omega}}_i)] =$$

$$= \mathbf{e}_j [\mathbf{A}_i \widetilde{\mathbf{J}}_i \mathbf{A}_i^{-1} \boldsymbol{\varepsilon}_j - \mathbf{A}_j (\widetilde{\mathbf{J}}_j \widetilde{\boldsymbol{\omega}}_j) \times \widetilde{\boldsymbol{\omega}}_j] \tag{3.30}$$

$$\mathbf{e}_j \mathbf{M}_i = \underbrace{\mathbf{e}_j^T \mathbf{A}_i \widetilde{\mathbf{J}}_i A_i^{-1} \boldsymbol{\Gamma}}_{c^T} \mathbf{q}'' + \underbrace{\mathbf{e}_j^T \mathbf{A}_i \widetilde{\mathbf{J}}_i \mathbf{A}_i^{-1} \boldsymbol{\Phi} - \mathbf{K}}_{v_2} \tag{3.31}$$

$$K = [\mathbf{A}_i (\widetilde{\mathbf{J}}_i \widetilde{\boldsymbol{\omega}}_i) \times \widetilde{\boldsymbol{\omega}}_i] \mathbf{e}_j.$$

Pentru coeficienții C_{ij} forma matriceală este

$$C_{ij} = \mathbf{e}_j m_i \mathbf{w}_i - \mathbf{e}_j m_i \mathbf{g} \tag{3.32}$$

$$C_{ij} = \underbrace{\mathbf{e}_j^T m_i \boldsymbol{\Omega}}_{d^T} \mathbf{q}'' + \underbrace{\mathbf{e}_j^T m_i \boldsymbol{\Theta} - \mathbf{e}_j^T m_i \mathbf{g}}_{v}. \tag{3.33}$$

În continuare (fig. 3.10) se prezintă, sub formă de organigramă, algoritmul de analiză dinamică, utilizînd formalismul Newton-Euler.

După calculul matricelor **W** și **U** se poate rezolva problema dinamică directă sau inversă cu ajutorul relațiilor (3.3), se pot determina accelerațiile liniare și unghiulare, $\boldsymbol{\varepsilon}_i$, $\mathbf{w}_i$ $(i = 1, \ldots, n)$ și se calculează forțele (momentele) de reacțiune $\mathbf{F}_{Rk}$, $\mathbf{M}_{Rk}$ cu ajutorul relațiilor (3.17), (3.20).

Pentru studierea altor metode de modelare a structurilor mecanice de manipulare, bazate pe formalismul Newton-Euler, se pot consulta și lucrările de specialitate [120, 121; 44].

Scanned with OKEN Scanner

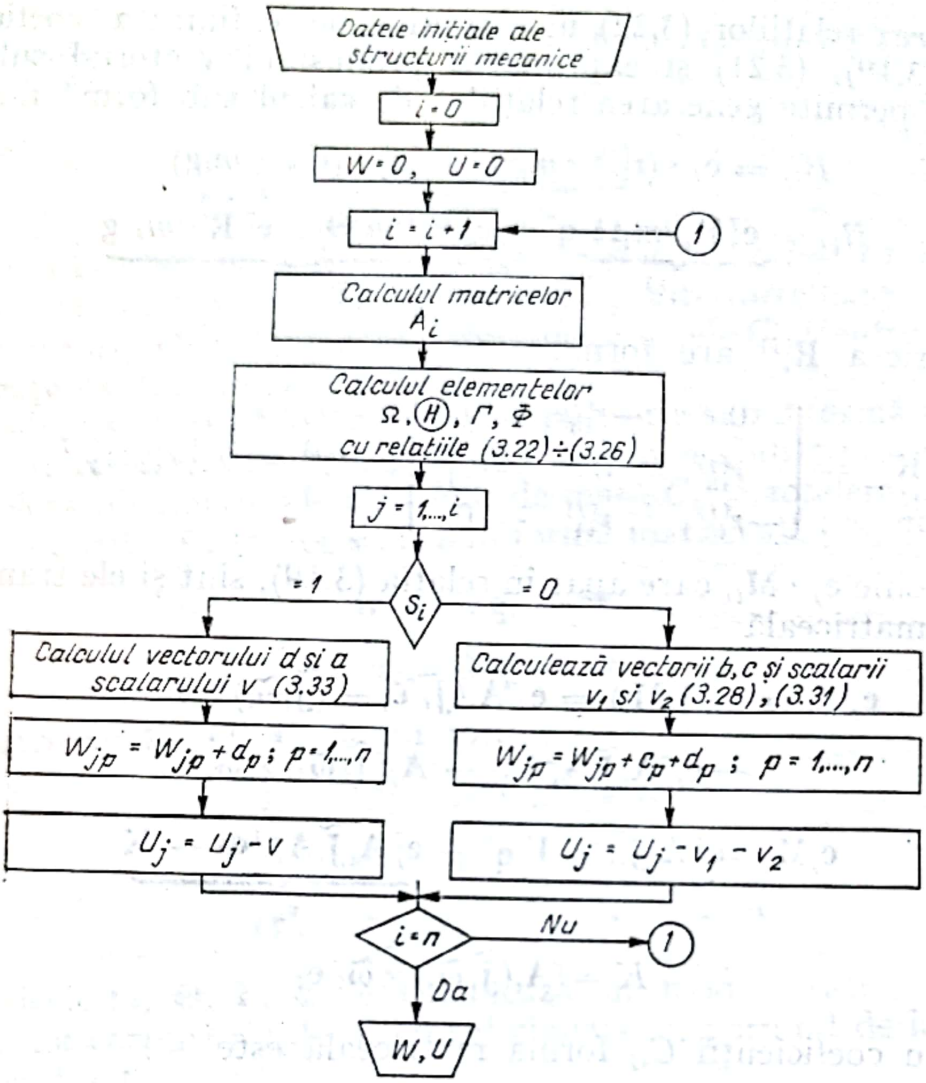


Fig. 3.10. Organigramă pentru analiză dinamică (Newton-Euler).

3.4. METODE DE MODELARE BAZATE PE FORMALISMUL LAGRANGE

Metoda de modelare prezentată în acest paragraf se aplică lanțurilor cinematice deschise (v. fig. 3.3) formate din n corpuri rigide, interconectate prin cuple cinematice cu cîte două grade de libertate, o rotație și o translație (fig. 3.11). În acest caz, structura mecanică are $2n$ grade de libertate, iar sistemul de ecuații diferențiale, care îi descriu dinamica (generate cu ajutorul formalismului Lagrange), are forma

$$\mathbf{W}\mathbf{q}'' = \mathbf{P} + \mathbf{U} \tag{3.34}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde $\mathbf{W} = \mathbf{W}(\mathbf{q}) \in R^{2n \times 2n}$ este matricea de inerție, $\mathbf{U} = \mathbf{U}(\mathbf{q}, \mathbf{q}') \in R^{2n}$ este matricea forțelor Coriolis și centrifugale, $\mathbf{P} = \mathbf{P}(t) \in R^{2n}$ este vectorul forțelor motoare și perturbatoare.

În cuplele cinematice S_i, cu două grade de libertate, rotația are loc în jurul axei determinate de vectorul $\mathbf{e}_i$, iar translația de-a lungul vectorului $\mathbf{r}^0_{ii}$, care unește articulația S_i cu centrul de masă $\widetilde{C}_i$ (fig. 3.11). Axa $\mathbf{e}_i$ este imobilă față de corpul C_{i-1}, iar axa $\mathbf{r}^0_{ii}$ este imobilă față de corpul C_i.

Tipul special de cuplă cinematică studiat introduce unele particularizări în metoda de modelare, deoarece axa de translație nu este arbitrară (translația se face de-a lungul axei $S_i\widetilde{C}_i$).

Forțele și cuplurile motoare în cupla cinematică sînt date de relațiile

$$\mathbf{F}_i = F_{pi}\mathbf{r}_{ii}, \quad \mathbf{M}_i = M_{pi}\mathbf{e}_i \tag{3.35}$$
$$\mathbf{P} = [M_{P_1}F_{P1} \dots M_{Pn}F_{Pn}]^T.$$

Fiecărei cuple cinematice i se asociază două coordonate generalizate (fig. 3.12): θ_i — rotație în jurul axei $\mathbf{e}_i$ și translația u_i de-a lungul

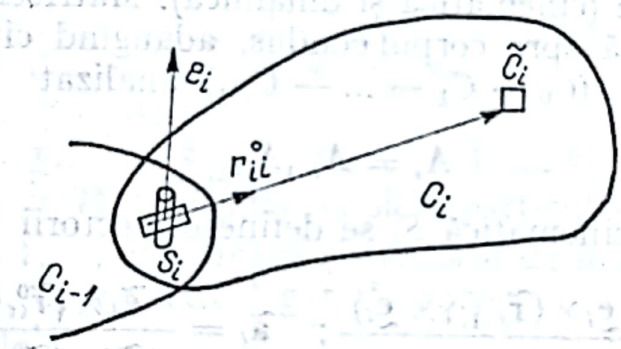


Fig. 3.11. Cuplă cinematică cu două grade de libertate.

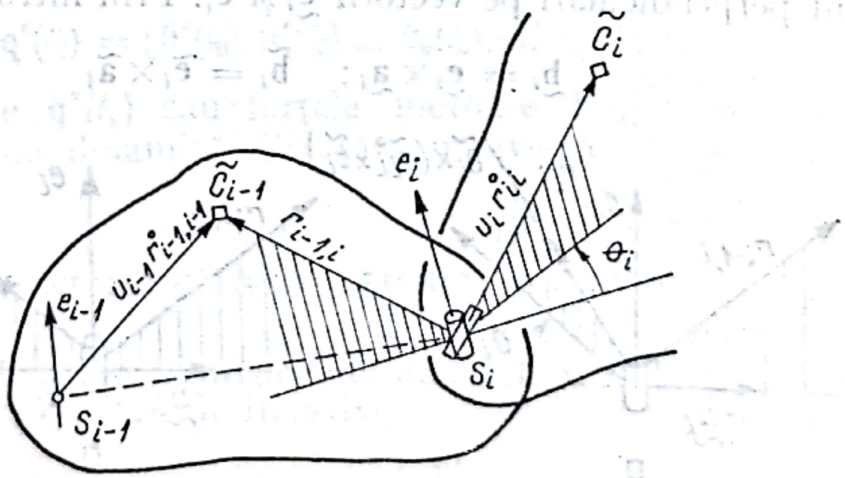


Fig. 3.12. Coordonatele generalizate asociate cuplei cinematice cu două grade de libertate.

Scanned with OKEN Scanner

axei $S_i\widetilde{C}_i$. Coordonata generalizată θ_i este unghiul format între proiecțiile vectorilor $-\mathbf{r}_{i-1,\,i}$, $\mathbf{r}^0_{ii}$ pe planul perpendicular pe axa $\mathbf{e}_i$, iar deplasarea liniară este $u_i = S_i\widetilde{C}_i (u_i = |S_i\widetilde{C}_i|)$.

Vectorul coordonatelor generalizate rezultă

$$\mathbf{q} = [\theta_1\, u_1 \ldots \theta_n u_n]^T.$$

În cazul cuplelor particulare ($\mathbf{r}^0_{ii} \| \mathbf{e}_i$ sau $\mathbf{r}_{i-1,\,i} \| \mathbf{e}_i$) se aplică metoda de analiză prezentată în §. 3.3.3.

3.4.1. CALCULUL MATRICELOR DE TRANZIȚIE A_i (FORMALISMUL LAGRANGE)

Se introduc reperele de coordonate (fix și mobile) și se folosesc aceleași notații ca și în § 3.3.

Vectorii $\widetilde{\mathbf{r}}^0_{ii}$, $\widetilde{\mathbf{r}}_{i-1,\,i}$, $\widetilde{\mathbf{e}}_i$, $\mathbf{e}_i$ sînt constanți și determină geometria corpului C_i și poziția articulației S_i, fiind și date de intrare pentru algoritmul de modelare (cinematică și dinamică). Matricele $\mathbf{A}_i$ se calculează iterativ, de la bază spre corpul condus, adăugînd cîte un nou corp C_i la lanțul cinematic $(C_0 \to C_1 \to \ldots \to C_{i-1})$ analizat

$$\mathbf{A}_i = \mathbf{A}_{i-1}\mathbf{A}_{i-1,\,i}.$$

Pentru cupla cinematică S_i se definesc vectorii unitari (fig. 3.13)

$$\underset{\sim}{\mathbf{a}}_i = \frac{-\underset{\sim}{\mathbf{e}}_i \times (\widetilde{\mathbf{r}}_{i-1,\,i} \times \underset{\sim}{\mathbf{e}}_i)}{|\underset{\sim}{\mathbf{e}}_i \times (\widetilde{\mathbf{r}}_{i-1,\,i} \times \underset{\sim}{\mathbf{e}}_i)|}; \quad \widetilde{\mathbf{a}}_i = \frac{\widetilde{\mathbf{e}}_i \times (\widetilde{\mathbf{r}}^0_{ii} \times \widetilde{\mathbf{e}}_i)}{|\widetilde{\mathbf{e}}_i \times (\widetilde{\mathbf{r}}^0_{ii} \times \widetilde{\mathbf{e}}_i)|} \tag{3.36}$$

care sînt perpendiculari pe vectorii $\underset{\sim}{\mathbf{e}}_i$ și $\widetilde{\mathbf{e}}_i$. Prin introducerea vectorilor

$$\underset{\sim}{\mathbf{b}}_i = \underset{\sim}{\mathbf{e}}_i \times \underset{\sim}{\mathbf{a}}_i; \quad \widetilde{\mathbf{b}}_i = \widetilde{\mathbf{e}}_i \times \widetilde{\mathbf{a}}_i$$

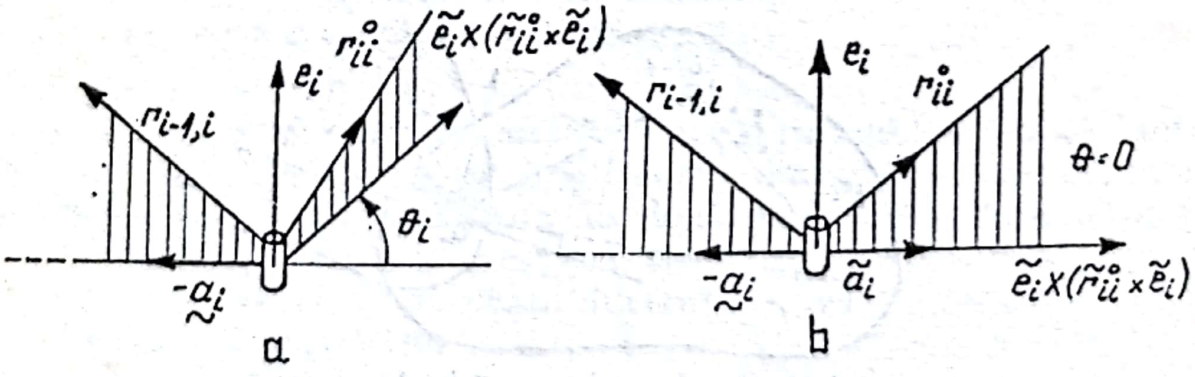


Fig. 3.13. Determinarea matricelor A_i (formalismul Lagrange).

se obțin două triplete de vectori $\{\underset{\sim}{e}_i, \underset{\sim}{a}_i, \underset{\sim}{b}_i\}$ și $\{\tilde{e}_i, \tilde{a}_i, \tilde{b}_i\}$ liniari independenți.

Ca și în §3.3. se calculează întîi matricea $\mathbf{A}^0_{i-1,i}$, corespunzătoare rotației nule ($\theta_i = 0$)

$$\mathbf{A}^0_{i-1,i} = [\underset{\sim}{e}_i \; \underset{\sim}{a}_i \; \underset{\sim}{b}_i]\,[\tilde{e}_i \; \tilde{a}_i \; \tilde{b}_i]^{-1} = [\mathbf{v}_{i1} \; \mathbf{v}_{i2} \; \mathbf{v}_{i3}]$$

iar apoi se aplică formula lui Rodrique pentru o rotație θ_i în jurul axei $\underset{\sim}{e}_i$

$$\mathbf{V}_{ij} = \mathbf{v}_{ij} \cos\theta_i + (1 - \cos\theta_i)\,(\underset{\sim}{e}_i \cdot \mathbf{v}_{ij})\,\underset{\sim}{e}_i + \underset{\sim}{e}_i \times \mathbf{v}_{ij} \sin\theta_i\,;$$

$$(i = 1, 2, 3)$$

$$\mathbf{A}_{i-1,i} = [\mathbf{V}_{i1} \; \mathbf{V}_{i2} \; \mathbf{V}_{i3}], \quad \text{pentru} \quad \theta_i \neq 0.$$

3.4.2. DATELE DE INTRARE PENTRU ANALIZA CINEMATICĂ ȘI DINAMICĂ (FORMALISMUL LAGRANGE)

Ca date de intrare pentru algoritmul de modelare se folosesc:

— n numărul de corpuri rigide și de cuple cinematice cu două grade de libertate (C_i, S_i);

— vectorii $\tilde{e}_i$, $\underset{\sim}{e}_i$, $\tilde{r}^0_{ii}$, $\tilde{r}_{i,i+1}$, $\mathbf{r}_{01}$ $(i = 1, \ldots, n)$;

— vectorii $\tilde{r}^*_{ii}$ și $\tilde{r}^*_{i,i+1}$ pentru cuplele particulare (3.3.1);

— m_i, $\tilde{J}_i$ $(i = 1, \ldots, n)$ — masa și tensorul de inerție a corpului C_i, față de reperul de coordonate legat de corp;

— starea inițială

$$\mathbf{q}(t_0) = [\theta_1(t_0) \; u_1(t_0) \; \ldots \; \theta_n(t_0) \; u_n(t_0)]^T\,;$$

$$\mathbf{q}'(t_0) = [\theta'_1(t_0) \; u'_1(t_0) \; \ldots \; \theta'_n(t_0), \; u'_n(t_0)^T]\,;$$

— accelerațiile $\mathbf{q}''(t_k)$ sau forțele motoare $\mathbf{P}(t_k)$ $(k = 0, 1, \ldots, k_f)$, funcție de problema dinamică directă sau inversă care se rezolvă.

3.4.3. ANALIZA CINEMATICĂ (FORMALISMUL LAGRANGE)

Considerînd $\mathbf{v}_i$ viteza centrului de masă și $\boldsymbol{\omega}_i$ viteza unghiulară a corpului C_1, se obțin relațiile iterative

$$\boldsymbol{\omega}_i = \boldsymbol{\omega}_{i-1} + \theta'_i \mathbf{e}_i \tag{3.37}$$

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{v}_{i-1} - \boldsymbol{\omega}_{i-1} \times \mathbf{r}_{i-1,i} + \boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{r}^0_{ii}\, u_i + u'_i \mathbf{r}^0_{ii}. \tag{3.38}$$

Scanned with OKEN Scanner

Din relația (3.37) se obține

$$\omega_i = \sum_{j=1}^{i} \mathbf{e}_j \theta'_j = \sum_{j=1}^{i} \beta_j \theta'_j \qquad (3.39)$$

$$\beta_j = \mathbf{e}_j = \mathbf{A}_{j-1} \underset{\sim}{\mathbf{e}}_j.$$

Din relațiile (3.38), (3.39) rezultă viteza liniară a centrului de masă $\tilde{C}_i$

$$\mathbf{v}_i = \sum_{j=1}^{i} \alpha_j \theta'_j + \sum_{j=1}^{i} \gamma_j u'_j \qquad (3.40)$$

unde

$$\alpha_j^i = \begin{cases} -\sum_{k=j+1}^{i} \mathbf{R}_{kj} + \sum_{k=j}^{i} \mathbf{H}_{kj} & (j < i) \\ \mathbf{H}_{ii} & (j = i) \end{cases}$$

$$\mathbf{R}_{kj} = \beta_j \times \delta_k; \quad \mathbf{H}_{kj} = \beta_j \times \gamma_k u_k;$$

$$\beta_j = \mathbf{e}_j = \mathbf{A}_{j-1} \underset{\sim}{\mathbf{e}}_j; \quad \delta_k = \mathbf{r}_{k-1,k} = \mathbf{A}_{k-1} \tilde{\mathbf{r}}_{k-1,k}; \quad \gamma_k = \mathbf{r}^0_{kk} = \mathbf{A}_k \tilde{\mathbf{r}}^0_{kk}$$

$$\tilde{\omega}_j = \mathbf{A}_i^{-1} \tilde{\omega}_i = \sum_{i=1}^{i} \mathbf{B}_j^i \theta'_j; \quad \mathbf{B}_j^i = \mathbf{A}_i^{-1} \beta_j (B_i^i = \tilde{\mathbf{e}}_i). \qquad (3.41)$$

3.4.4. ANALIZA DINAMICĂ (FORMALISMUL LAGRANGE)

Pentru folosirea ecuațiilor Lagrange, în generarea modelului dinamic al structurii mecanice, este necesară calcularea energiei cinetice totale T

$$T = \sum_{i=1}^{n} T_i$$

unde T_i este energia cinetică a corpului C_i

$$T_i = 1/2 m_i \mathbf{v}^2_i + 1/2 \tilde{\omega}^T_i \tilde{\mathbf{J}}_i \tilde{\omega}_i.$$

Dinamica sistemului mecanic va fi descrisă de sistemul de $2n$ ecuații diferențiale (ecuațiile lui Lagrange)

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\dfrac{\partial T}{\partial \theta'_i}\right) - \dfrac{\partial T}{\partial \theta_i} = Q^\theta_i \\ \dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\dfrac{\partial T}{\partial u'_i}\right) - \dfrac{\partial T}{\partial u_i} = Q^u_i \quad (i = 1, \ldots, n) \end{cases} \qquad (3.42)$$

Scanned with OKEN Scanner

unde Q_i^0 și Q_i^u sînt forțele generalizate corespunzătoare coordonatelor generalizate θ_i și u_i.

Din relațiile (3.40), (3.41) rezultă

$$m_i \mathbf{v}_i^2 = m_i \sum_{p=1}^{i} \sum_{q=1}^{i} (\boldsymbol{\alpha}_p^i \boldsymbol{\alpha}_q^i \theta_p' \theta_q' + 2\boldsymbol{\alpha}_p^i \boldsymbol{\gamma}_q \theta_p' u_q' + \boldsymbol{\gamma}_p \boldsymbol{\gamma}_q u_p' u_q') \tag{3.43}$$

$$\tilde{\boldsymbol{\omega}}_i^T \tilde{\mathbf{J}}_i \boldsymbol{\omega}_i = \sum_{p=1}^{i} \sum_{q=1}^{i} \mathbf{B}_p^i \tilde{\mathbf{J}}_i \mathbf{B}_q^i \theta_p' \theta_q'. \tag{3.44}$$

Generarea ecuațiilor (3.42) necesită și calculul derivatelor parțial $\frac{\partial_T}{\partial \theta_s'}$, $\frac{\partial_T}{\partial u_s'}$ $(s = 1, \ldots, n)$

$$\frac{\partial_T}{\partial \theta_s'} = 1/2 \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial}{\partial \theta_s'} m_i \mathbf{v}_i^2 + \frac{\partial}{\partial \theta_s'} \tilde{\boldsymbol{\omega}}_i^T \tilde{\mathbf{J}}_i \tilde{\boldsymbol{\omega}}_i \right) =$$

$$= 1/2 \sum_{i=1}^{n} \sum_{r=1}^{i} [(\mathbf{B}_r^i \tilde{\mathbf{J}}_i \mathbf{B}_s^i + \mathbf{B}_s^i \tilde{\mathbf{J}}_i \mathbf{B}_r^i + 2m_i \boldsymbol{\alpha}_r^i \boldsymbol{\alpha}_s^i) \theta_r' + 2m_i \boldsymbol{\alpha}_s^i \boldsymbol{\gamma}_r u_r']$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \left(\frac{\partial_T}{\partial \theta_s'} \right) = \frac{1}{2} \sum_{i=s}^{n} \sum_{r=1}^{i} [((\mathbf{B}_r^i)' \tilde{\mathbf{J}}_i \mathbf{B}_s^i + \mathbf{B}_r^i \tilde{\mathbf{J}}_i (\mathbf{B}_s^i)' + (\mathbf{B}_s^i)' \tilde{\mathbf{J}}_i \mathbf{B}_r^i +$$

$$+ \mathbf{B}_s^i \tilde{\mathbf{J}}_i (\mathbf{B}_r^i)' + 2m_i (\boldsymbol{\alpha}_r^i)_, \boldsymbol{\alpha}_s^i + 2m_i \boldsymbol{\alpha}_r^i (\boldsymbol{\alpha}_s^i)') \theta_r' +$$

$$+ (\mathbf{B}_r^i \tilde{\mathbf{J}}_i \mathbf{B}_s^i + \mathbf{B}_s^i \tilde{\mathbf{J}}_i \mathbf{B}_r^i + 2m_i \boldsymbol{\alpha}_r^i \boldsymbol{\alpha}_s^i) \theta_r'' +$$

$$+ (2m_i (\boldsymbol{\alpha}_s^i)' \boldsymbol{\gamma}_r + 2m_i \boldsymbol{\alpha}_s^i \boldsymbol{\gamma}'_r) u_r' + 2m_i \boldsymbol{\alpha}_s^i \boldsymbol{\gamma}_r u_r'']. \tag{3.45}$$

Calculînd derivatele vectorilor $\mathbf{B}_j^i$, $\boldsymbol{\beta}_j$, $\boldsymbol{\alpha}_j^i$, $\boldsymbol{\gamma}_k$, care apar în relația (3.45), rezultă

$$(\mathbf{B}_j^i)' = -\mathbf{A}_i^{-1} (\mathbf{A}_i)' \mathbf{A}_i^{-1} \boldsymbol{\beta}_j + \mathbf{A}_i^{-i} \boldsymbol{\beta}_j'$$

$$\boldsymbol{\beta}_j' = \mathbf{e}_j' = \mathbf{A}'_{j-k} \underset{\sim}{\mathbf{e}}_j$$

$$(\boldsymbol{\alpha}_j^i)' = \begin{cases} -\sum_{k=j+1}^{i} \mathbf{R}'_{kj} + \sum_{k=j}^{i} \mathbf{H}'_{kj} & (j < i) \\ \mathbf{H}'_{ii} & (j = i) \end{cases} \tag{3.46}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\mathbf{R}'_{kj} = \boldsymbol{\beta}_j \times \boldsymbol{\delta}_k + \boldsymbol{\beta}_j \times \boldsymbol{\delta}'_k,$$

$$\mathbf{H}'_{kj} = \boldsymbol{\beta}'_j \times \boldsymbol{\gamma}_k u_k + \boldsymbol{\beta}_j \times \boldsymbol{\gamma}'_k u_k + \boldsymbol{\beta}_j \times \boldsymbol{\gamma}_k u'_k$$

$$\boldsymbol{\beta}'_j = \mathbf{e}'_j = \mathbf{A}'_{j-1}\underline{e}_j; \quad \boldsymbol{\delta}'_k = \mathbf{r}'_{k-1,k} = \mathbf{A}'_{k-1}\tilde{\mathbf{r}}_{k-1,k}$$

$$\boldsymbol{\gamma}'_k = (\mathbf{r}^0_{kk})' = \mathbf{A}'_k \tilde{\mathbf{r}}^0_{kk}.$$

În continuare, se calculează derivatele parțiale $\dfrac{\partial T}{\partial u'_s}$

$$\frac{\partial T}{\partial u'_s} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial}{\partial u'_s} m_i \mathbf{v}_i^2 + \frac{\partial}{\partial u'_s}\tilde{\boldsymbol{\omega}}_i^T \mathbf{J}_i \tilde{\boldsymbol{\omega}}_i) =$$

$$= \frac{1}{2}\sum_{i=s}^{n}\sum_{r=1}^{i}(m_i \boldsymbol{\alpha}_r^i \boldsymbol{\gamma}_s \theta'_r + m_i \boldsymbol{\gamma}_r \boldsymbol{\gamma}_s u'_r) \tag{3.47}$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\frac{\partial T}{\partial u'_s}\right) = \frac{1}{2}\left[\sum_{i=s}^{n}\sum_{r=1}^{n}(m_i(\alpha_r^i)'\,\boldsymbol{\gamma}_s + m_i \boldsymbol{\alpha}_r^i \boldsymbol{\gamma}'_s)\,\theta'_r + \right.$$

$$\left. + m_i \boldsymbol{\alpha}_r^i \boldsymbol{\gamma}_s \theta''_r + (m_i \boldsymbol{\gamma}'_r \boldsymbol{\gamma}_s + m_i \boldsymbol{\gamma}_r \boldsymbol{\gamma}'_s)\,u'_r + m_i \boldsymbol{\gamma}_r \boldsymbol{\gamma}_s u''_r\right]$$

unde $(\boldsymbol{\alpha}_j^i)'$ și $\boldsymbol{\gamma}'_j$ se calculează cu relațiile (3.46).

Calculul derivatelor parțiale $\dfrac{\partial T}{\partial \theta_s}$, $\dfrac{\partial T}{\partial u_s}$ $(s = 1. \ldots . n)$ generează

$$\frac{\partial T}{\partial \theta_s} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial}{\partial \theta_s} m_i \mathbf{v}_i^2 + \frac{\partial}{\partial \theta_s}\tilde{\boldsymbol{\omega}}_i^T \tilde{\mathbf{J}}_i \tilde{\boldsymbol{\omega}}_i\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta_s} m_i \mathbf{v}_i^2 = \begin{cases} 0, & \text{dacă } s > i \\ m_i \sum_{p=1}^{i}\sum_{q=1}^{i}\left[\left(\frac{\partial \boldsymbol{\alpha}_p^i}{\partial \theta_s}\boldsymbol{\alpha}_q^i + \boldsymbol{\alpha}_p^i \frac{\partial \boldsymbol{\alpha}_q^i}{\partial \theta_s}\right)\right]\theta'_p \theta'_q + \\ + \left(2\frac{\partial \boldsymbol{\alpha}_p^i}{\partial \theta_s}\boldsymbol{\gamma}_q + 2\boldsymbol{\alpha}_p^i \frac{\partial \boldsymbol{\gamma}_q}{\partial \theta_s}\right)\theta'_p u'_q + \\ + \frac{\partial \boldsymbol{\gamma}_p}{\partial \theta_s}\boldsymbol{\gamma}_q + \boldsymbol{\gamma}_p \frac{\partial \boldsymbol{\gamma}_q}{\partial \theta_s}\Big) u'_p u'_q, & \text{dacă } s < i \end{cases} \tag{3.48}$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\frac{\partial}{\partial\theta_s}\tilde{\omega}_i^T\tilde{J}_i\tilde{\omega}_i=\begin{cases}0, & \text{dacă} \quad s>i\\ \sum\limits_{p=1}^{i}\sum\limits_{q=1}^{i}\left(\frac{\partial B_p^i}{\partial\theta_s}\tilde{J}_iB_q^i+B_p^i\tilde{J}_i\frac{\partial B_q^i}{\partial\theta_s}\right)\theta_p'\theta_q', & \text{dacă} \quad s<i\end{cases} \tag{3.49}$$

unde

$$\frac{\partial B_j^i}{\partial\theta_s}=-A_i^{-1}\frac{\partial A_i}{\partial\theta_s}A_i^{-1}\beta_j+A_i^{-1}\frac{\partial B_j}{\partial\theta_s}$$

$$\frac{\partial\beta_j}{\partial\theta_s}=\frac{\partial e_j}{\partial\theta_s}=\frac{A_{j-1}}{\partial\theta_s}e_j$$

$$\frac{\partial\alpha_j^i}{\partial\theta_s}=\begin{cases}-\sum\limits_{k=j+1}^{i}\frac{\partial R_{kj}}{\partial\theta_s}+\sum\limits_{k=j}^{i}\frac{\partial H_{ki}}{\partial\theta_s} & (j<i)\\ \frac{\partial H_{ii}}{\partial\theta_s} & (j=i)\end{cases}$$

$$\frac{\partial R_{kj}}{\partial\theta_s}=\frac{\partial\beta_j}{\partial\theta_s}\times\delta_k+\beta_j\times\frac{\partial\delta_k}{\partial\theta_s} \tag{3.50}$$

$$\frac{\partial H_{kj}}{\partial\theta_s}=\frac{\partial\beta_j}{\partial\theta_s}\times\gamma_s u_k+\beta_j\times\frac{\partial\gamma_k}{\partial\theta_s}u_k$$

$$\frac{\partial\beta_j}{\partial\theta_s}=\frac{\partial e_j}{\partial\theta_s}=\frac{\partial A_{j-1}}{\partial\theta_s}e_j;\quad\frac{\partial\delta_k}{\partial\theta_s}=\frac{\partial r_{k-1,k}}{\partial\theta_s}=$$

$$=\frac{\partial A_{k-1}}{\partial\theta_s}\tilde{r}_{k-1,k}$$

$$\frac{\partial\gamma_k}{\partial\theta_s}=\frac{\partial r_{kk}^0}{\partial\theta_s}=\frac{\partial A_k}{\partial\theta_s}\tilde{r}_{kk}^0.$$

Pentru calculul derivatelor parțiale $\frac{\partial_T}{\partial u_s}$ se folosesc următoarele relații

$$\frac{\partial_T}{\partial u_s}=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial}{\partial u_s}m_iv_i^2+\frac{\partial}{\partial u_s}\tilde{\omega}_i^T\tilde{J}_i\tilde{\omega}_i;\quad\frac{\partial}{\partial u_s}\omega_i^T\tilde{J}_i\omega_i=0$$

Scanned with OKEN Scanner

$$\frac{\partial}{\partial u_s} m_i \mathbf{v}_i^2 = \begin{cases} 0; & \text{dacă} \quad s > i \\ \sum_{p=1}^{i}\sum_{q=1}^{i}\left(\frac{\partial \boldsymbol{\alpha}_p^i}{\partial u_s}\boldsymbol{\alpha}_q \theta_p' \theta_q' + \boldsymbol{\alpha}_p^i \frac{\partial \boldsymbol{\alpha}_q^i}{\partial u_s}\theta_p'\theta_q' + \right. \\ \left. + 2\frac{\partial \boldsymbol{\alpha}_p^i}{\partial u_s}\boldsymbol{\gamma}_q \theta_p' u_q'\right); & \text{dacă} \quad s \leqslant i. \end{cases} \tag{3.51}$$

Deoarece $\frac{\partial \mathbf{B}_j^i}{\partial u_s} = 0$ pentru orice s, i, j și $\frac{\partial \boldsymbol{\gamma}_i}{\partial \theta_s} = 0$ pentru orice s, j, rezultă

$$\frac{\partial \boldsymbol{\alpha}_j^i}{\partial u_s} = \begin{cases} -\sum_{k=j+1}^{i}\frac{\partial \mathbf{R}_{kj}}{\partial u_s} + \sum_{k=1}^{i}\frac{\partial \mathbf{H}_{kj}}{\partial u_s} & (j < i) \\ \frac{\partial \mathbf{H}_{ii}}{\partial u_s} & (j = i) \end{cases} \tag{3.52}$$

$$\frac{\partial \mathbf{R}_{kj}}{\partial u_s} = 0; \quad \frac{\partial \mathbf{H}_{kj}}{\partial u_s} = \begin{cases} 0 & (k \neq s) \\ \boldsymbol{\beta}_j \times \boldsymbol{\gamma}_k = \mathbf{A}_{j-1}\underset{\sim}{\mathbf{e}}_j \times \mathbf{A}_k \tilde{\mathbf{r}}_{kk}^0 & (k = s). \end{cases}$$

Astfel, calculul derivatelor parțiale ale energiei cinetice T (3.45), (3.51) se reduce la determinarea matricelor de tranziție $\mathbf{A}_p$ și a derivatelor lor $\mathbf{A}_p'$, $\frac{\partial \mathbf{A}_p}{\partial \theta_s}$, care se efectuează în mod iterativ (v. § 3.3.1, § 3.3.2, § 3.4.1).

Pentru calculul derivatelor parțiale a matricilor $\mathbf{A}_i$ se folosesc relațiile

$$\frac{\partial \mathbf{A}_i}{\partial \theta_s} = \begin{cases} \frac{\partial \mathbf{A}_{i-1}}{\partial \theta_s}\mathbf{A}_{i-1,\,i} & (s < i) \\ \mathbf{A}_{i-1}\frac{\partial \mathbf{A}_{i-1,\,i}}{\partial \theta_i} & (s = i) \\ 0 & (s > i) \end{cases}$$

$$\frac{\partial \mathbf{A}_{i-1,\,i}}{\partial \theta_i} = \left[\frac{\partial \mathbf{V}_{i1}}{\partial \theta_i} \; \frac{\partial \mathbf{V}_{i2}}{\partial \theta_i} \; \frac{\partial \mathbf{V}_{i3}}{\partial \theta_i}\right] \tag{3.53}$$

$$\frac{\partial \mathbf{V}_{ij}}{\partial \theta_i} = -\mathbf{v}_{i,j}\sin\theta_i + \sin\theta_i\,(\underset{\sim}{\mathbf{e}}_i \cdot \mathbf{v}_{ij})\,\underset{\sim}{\mathbf{e}}_i + \underset{\sim}{\mathbf{e}}_i \times \mathbf{v}_{ij}\cos\theta_i \quad (j = 1, 2, 3)$$

unde vectorul $\mathbf{v}_{ij}$ a fost determinat de relațiile (3.10).

Scanned with OKEN Scanner

Pentru calculul derivatei matricei $\mathbf{A}_i$ se folosesc relațiile

$$\mathbf{A}'_i = \mathbf{A}'_{i-1}\mathbf{A}_{i-1,i} + \mathbf{A}_{i-1}\mathbf{A}'_{i-1,1}. \tag{3.54}$$

Deoarece matricele $\mathbf{A}_{i-1}$, $\mathbf{A}'_{i-1}$ sînt cunoscute, rămîne de calculat matricea $\mathbf{A}'_{i-1,i}$. Ținînd seama că matricea $\mathbf{A}_{i-1,i}$ depinde numai de θ_i, rezultă:

$$\mathbf{A}'_{i-1,i} = \frac{\partial \mathbf{A}_{i-1,i}}{\partial \theta_i}\,\theta'_i \tag{3.55}$$

unde $\frac{\partial \mathbf{A}_{i-1,i}}{\partial \theta_i}$ se calculează cu relațiile (3.52).

În generarea modelului dinamic, sub forma ecuațiilor (3.42), mai trebuie calculate forțele generalizate Q_i^θ, Q_i^u, corespunzătoare coordonatelor generalizate θ_i și u_i.

Se consideră o deplasare virtuală $\delta\theta_i$ a coordonatei θ_i (fig. 3.14), celelalte coordonate fiind menținute constante. Lucrul mecanic virtual δA^θ corespunzător deplasării $\delta\theta_i$, este efectuat de cuplul de acționare M_{Pi} și de forțele de greutate ale corpurilor C_i, C_{i+1}, ..., C_n

$$\delta A^\theta = \delta A^P + \delta A^g \tag{2.56}$$

$$\delta A^P = M_{Pi}\delta\theta_i; \quad \delta A^g = \delta A^0 + \delta A^1 + \ldots + \delta A^{n-1}$$

unde δA^k este lucrul mecanic al forțelor de greutate ale corpului C_{i+k}.

Pentru corpul C_{i+k}, folosind notațiile din figura 3.15, lucrul mecanic efectuat de forțele de greutate este

$$\delta A^k = m_{i+k}\mathbf{g}\,\delta\mathbf{r}_k^i \tag{3.57}$$

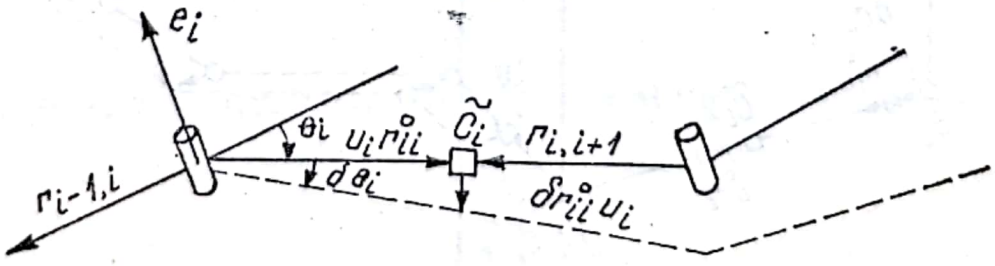


Fig. 3.14. Deplasare virtuală δe_i, în cupla cinematică de rotație S_i.

Scanned with OKEN Scanner

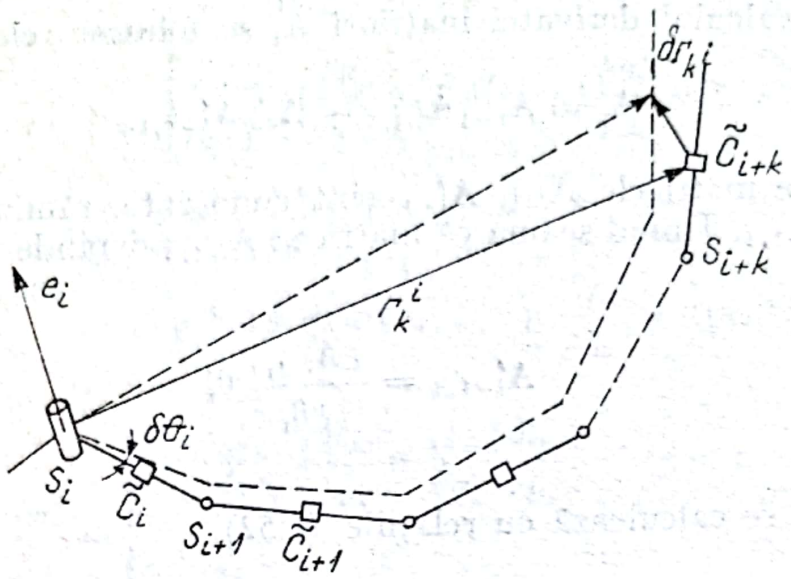


Fig. 3.15. Deplasare virtuală datorată forțelor de greutate.

unde $\mathbf{g} = (0\ 0\ -9{,}81)^T$, iar vectorul $\mathbf{r}_k^i$ se determină cu relațiile

$$\mathbf{r}_k^i = \sum_{l=0}^{k} \mathbf{r}_{i+b,\,i+l}^0\ \mathbf{u}_{i+l} - \sum_{l=0}^{k-1} \mathbf{r}_{i+l,\,i+l+1}$$

$$\delta\mathbf{r}_k^i = \mathbf{e}_i \times \mathbf{r}_k^i\ \delta\theta_i. \tag{3.58}$$

Din relațiile (3.55) — (3.57) se obține

$$Q_i^\theta = M_{Fi} + \sum_{k=0}^{n-1} m_{i+k}[\mathbf{g}\ \mathbf{e}_i \mathbf{r}_k^i]. \tag{3.59}$$

Pentru calculul forței generalizate Q_i^u se consideră o deplasare virtuală δu_i a coordonatei u_i, menținînd celelalte coordonate constante (fig. 3.16).

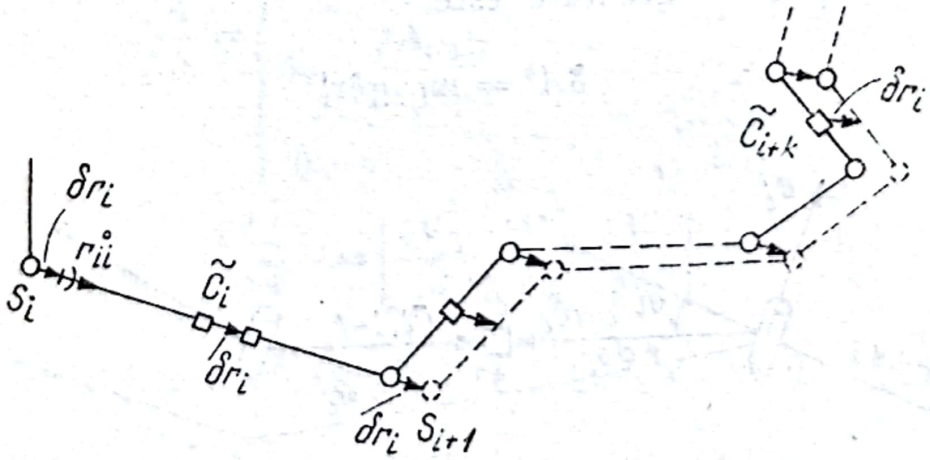


Fig. 3.16. Deplasare virtuală, în cupla cinematică de translație.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrul mecanic virtual δA^u este efectuat de forța de acționare F_{Pi} și de forțele de greutate ale corpurilor C_i, C_{i+1}, ..., C_n

$$\delta A^u = \delta A^P + \delta A^g$$

$$\delta A^P = \mathbf{F}_i \delta \mathbf{r}_i = \mathbf{F}_{Pi} \delta u_i; \quad \delta \mathbf{r}_i = \mathbf{r}_{ii}^0 \delta u_i \tag{3.60}$$

La deplasarea virtuală δu_i, întregul lanț cinematic de la cupla S_i la corpul C_n se mișcă liniar cu $\delta \mathbf{r}_i = \mathbf{r}_{ii}^0 \delta u_i$. Astfel, lucrul mecanic efectuat de forțele de greutate este

$$\delta A^g = \sum_{k=0}^{n-1} m_{i+k} \mathbf{g} \delta \mathbf{r}_i = \mathbf{r}_{ii}^0 \mathbf{g} \left(\sum_{k=0}^{n-1} m_{i+k} \right) \delta u_i. \tag{3.61}$$

Folosind relațiile (3.60) (3.61), rezultă forțele generalizate Q_i^u

$$Q_i^u = F_{Pi} + \mathbf{r}_{ii}^0 \mathbf{g} \sum_{k=0}^{n-1} m_{i+k} \tag{3.62}$$

Vectorul $\mathbf{Q}$ al forțelor generalizate este

$$\mathbf{Q} = [Q_1^\theta Q_1^u \ldots Q_n^\theta Q_n^u]^T = \mathbf{P} + \mathbf{Y} \tag{3.63}$$

unde $\mathbf{P}$ corespunde forțelor motoare, iar $\mathbf{Y}$ corespunde forțelor de greutate.

3.4.5. MODELUL DINAMIC SCRIS SUB FORMĂ MATRICEALĂ

Pentru implementarea pe calculator a metodei de modelare prezentată anterior este necesară punerea modelului dinamic sub formă matriceală.

Relația (3.40), corespunzătoare calculului vitezei centrului de masă al corpului C_i, poate fi exprimată în formă matriceală:

$$\mathbf{v}_i = [\alpha_1^i \gamma_1 \ldots \alpha_i^i \gamma_i \, 0 \, 0 \ldots 0 \, 0] \begin{bmatrix} \theta_1' \\ u_1' \\ \vdots \\ \theta_i' \\ u_i' \\ \vdots \\ \theta_n' \\ u_n' \end{bmatrix} = \mathbf{M}^{(i)} \mathbf{q}'; \quad \mathbf{M}^i \in R^{3 \times 2n} \tag{3.64}$$

Scanned with OKEN Scanner

Viteza unghiulară $\boldsymbol{\omega}_i$ a corpului C_i, scrisă sub formă matriceală, devine

$$\boldsymbol{\omega}_i = [B_1^i\ 0\ \ldots\ B_i^i\ 0\ 0\ 0\ \ldots\ 0\ 0] \begin{bmatrix} \theta_1' \\ u_1' \\ \vdots \\ \theta_i' \\ u_i' \\ \vdots \\ \theta_n' \\ u_n' \end{bmatrix} = \tilde{\mathbf{N}}_i \mathbf{q}'; \quad \mathbf{N}^{(i)} \in \mathbf{R}^{3\times 2n}. \tag{3.65}$$

Folosind relațiile (3.63), (3.64) în calculul energiei cinetice T_i, rezultă

$$T_i = \frac{1}{2} (\mathbf{q}')^T \mathbf{W}_i q'; \quad \mathbf{W}_i = m_i (\mathbf{M}^{(i)})^T \mathbf{M}^{(i)} + (\tilde{\mathbf{N}}^{(i)})^T \tilde{\mathbf{J}}_i \tilde{\mathbf{N}}^{(i)}. \tag{3.66}$$

Energia cinetică totală a structurii mecanice se calculează cu relația

$$T = \sum_{i=1}^{n} T_i = \frac{1}{2} (\mathbf{q}')^T \left(\sum_{i=1}^{n} \mathbf{W}_i \right) \mathbf{q}' = \frac{1}{2} (\mathbf{q}')^T \ \mathbf{W}\mathbf{q}'. \tag{3.67}$$

Ecuațiile Lagrange scrise sub formă matriceală devin

$$\mathbf{W}\mathbf{q}'' + \mathbf{W}'\mathbf{q}' - \frac{\partial T}{\partial \mathbf{q}} = \mathbf{Q} = \mathbf{P} + \mathbf{Y}$$

$$\mathbf{U} = \mathbf{Y} + \frac{\partial T}{\partial \mathbf{q}} - \mathbf{W}'\mathbf{q}' \tag{3.68}$$

$$\mathbf{W}\mathbf{q}'' = \mathbf{P} + \mathbf{U}.$$

Matricele $\mathbf{W}$ și $\mathbf{W}'$ din relația (3.68) se calculează iterativ

$$\mathbf{W}^{(i)} = \mathbf{W}^{(i-1)} + \mathbf{W}_i, \quad \mathbf{W} = \mathbf{W}^{(n)}$$

$$(\mathbf{W}^{(i)})' = (\mathbf{W}^{(i-1)})' + (\mathbf{W}_i)' \tag{3.69}$$

Scanned with OKEN Scanner

Matricea $\mathbf{W}_i$ se determină cu relația (3.66) iar matricea $(\mathbf{W}_i)'$ rezultă din

$$(\mathbf{W}_i)' = m_i[(\mathbf{M}^{(i)})'^T\mathbf{M}^{(i)} + \mathbf{M}^{(i)T}(\mathbf{M}^{(i)'})] + (\tilde{\mathbf{N}}^{(i)})'\tilde{\mathbf{J}}_i\mathbf{N}^{(i)} + \\ + \hat{\mathbf{N}}^{(i)T}\tilde{\mathbf{J}}_i(\tilde{\mathbf{N}}^{(i)})' ; \tag{3.70}$$

$$(\mathbf{M}^{(i)})' = [(\alpha_1^i)\ \gamma_1'\ \ldots\ (\alpha_i^i)'\ \gamma_i'\ 0\ 0\ \ldots\ 0\ 0]$$

$$(\tilde{\mathbf{N}}^{(i)})' = [(B_1^i)'\ 0\ \ldots\ (B_i^i)'\ 0\ 0\ 0\ \ldots\ 0\ 0]$$

unde $(B_j^i)'$, $(\alpha_j^i)'$ și γ_j' se calculează cu relațiile (3.46).

Algoritmul de generare a modelului dinamic (folosind formalismul Lagrange este prezentat sub formă de organigramă în figura 3.17. Algoritmul prezentat poate fi particularizat și pentru cuple cinematice cu un singur grad de libertate (translație sau rotație).

Pentru studierea altor metode de modelare a structurilor mecanice, care folosesc formalismul Lagrange, se pot consulta lucrările de specialitate [120, 27, 44].

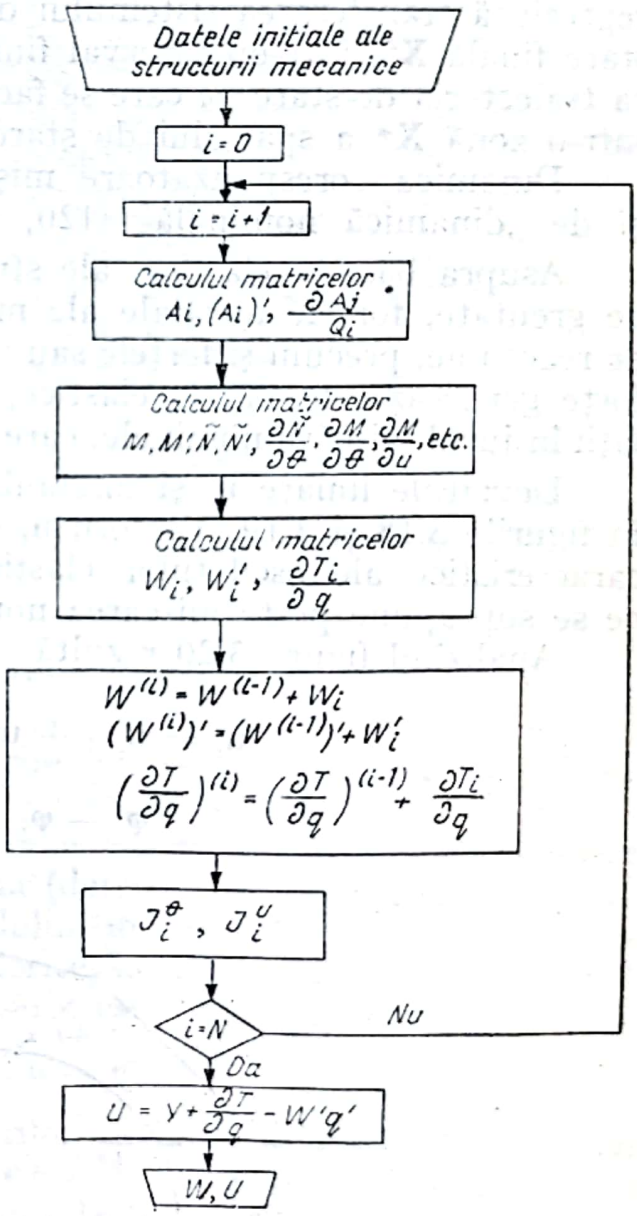


Fig. 3.17. Organigramă — analiză dinamică (Lagrange).

3.5. MODELAREA STRUCTURILOR MECANICE ELASTICE

Metodele de modelare prezentate în § 3.3 și § 3.5 se aplică pentru structuri mecanice formate din corpuri rigide. Ipoteza de rigiditate a elementelor componente se aplică dacă secțiunea transversală a corpului este suficient de mare încît elasticitatea lui poate fi neglijată.

În practică, o structură mecanică este alcătuită din corpuri rigide și corpuri elastice. Metoda de modelare presupune atribuirea de coor-

Scanned with OKEN Scanner

donate generalizate $(q_i(t)\,;\ i = 1, \ldots, n)$ corpurilor rigide și de coordonate distribuite „elastice" $(v_i(x_i, t),\ w_i(x_i, t),\ \alpha_i(x_i, t)\,;\ i = 1, \ldots, m)$ ce caracterizează deformările de încovoiere, răsucire etc.

Pentru formularea problemei de modelare se consideră o structură mecanică (lanț cinematic deschis) formată din n bare elastice, articulate prin cuple cinematice cu cîte un grad de libertate (de translație sau rotație).

Mișcarea totală a acestei structuri se obține din suprapunerea unei „micromișcări" datorate deformării corpurilor elastice peste mișcarea nominală executată de structura formată numai din corpuri rigide.

Mișcarea nominală (mișcarea dorită într-o aplicație robotizată) reprezintă transferarea sistemului dinamic din starea inițială $\mathbf{X}^I$ într-o stare finală $\mathbf{X}^F$, într-un interval finit de timp. De asemenea, se dorește ca traiectoria de stare pe care se face transferul $\mathbf{X}^I \to \mathbf{X}^F$ să fie cuprinsă într-o zonă $\mathbf{X}^*$ a spațiului de stare.

Dinamica corespunzătoare mișcării nominale mai poartă numele și de „dinamică nominală" [120, 121].

Asupra barelor elastice, ale structurii analizate, acționează forțele de greutate, forțele inerțiale ale mișcării nominale, forțele motoare și de reacțiune, precum și forțele sau momentele externe cunoscute. Aceste forțe generează, în barele elastice, mici deformații elastice (mici oscilații în jurul mișcării nominale, care nu influențează dinamica nominală).

Deviațiile liniare $\mathbf{u}_i$ și unghiulare $\boldsymbol{\varphi}_i$ $(i = 1, \ldots, n)$ sînt prezentate în figurile 3.18 și 3.19. Vectorii $\mathbf{u}_i$ și $\boldsymbol{\varphi}_i$, $i = 1, \ldots, n$ reprezintă valorile caracteristice ale oscilațiilor elastice, care formează „micromișcarea" ce se suprapune peste mișcarea nominală.

Analizînd figura 3.20 rezultă

$$\mathbf{u}_i = \mathbf{u}_{i-1} + \mathbf{u}_i^{el} + \boldsymbol{\varphi}_{i-1} \times \mathbf{l}_i \tag{3.71}$$

$$\boldsymbol{\varphi}_i = \boldsymbol{\varphi}_{i-1} + \boldsymbol{\varphi}_i^{el}$$

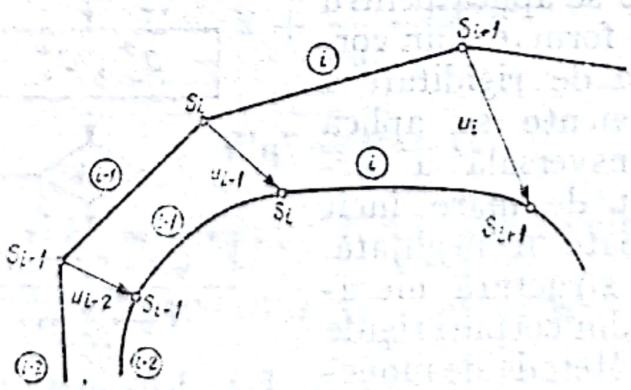


Fig. 3.18. Deplasări elastice liniare.

Scanned with OKEN Scanner

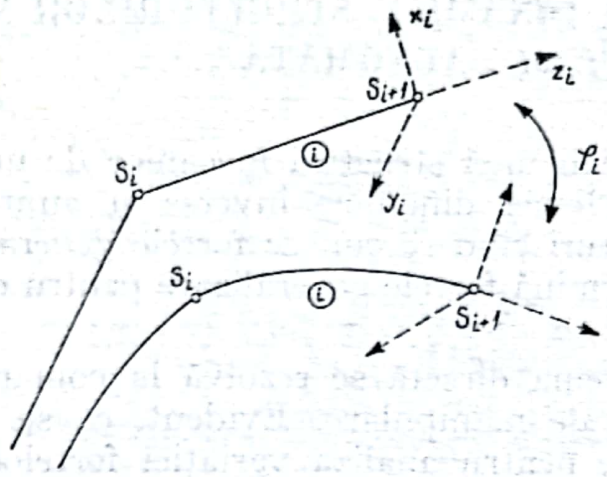


Fig. 3.19. Deplasări elastice unghiulare.

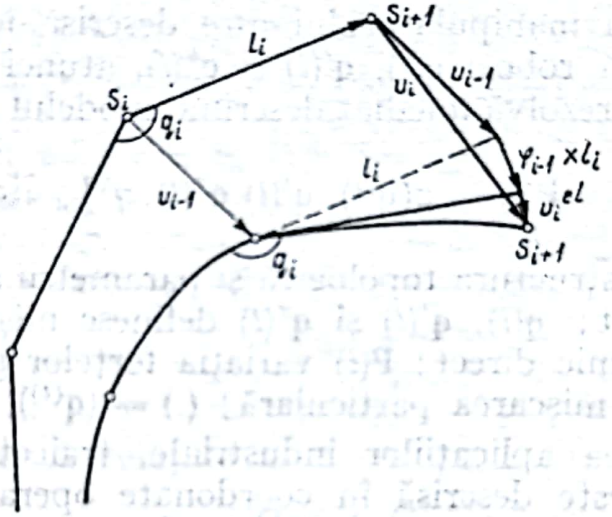


Fig. 3.20. Compunerea deplasărilor elastice.

unde $\mathbf{u}_i^{el}$ și $\boldsymbol{\varphi}_j^{el}$ reprezintă deplasările datorite deformării barei i sub acțiunea forțelor și a momentelor enumerate anterior.

Modelarea structurilor mecanice elastice presupune generarea modelului dinamic pentru structura rigidă (determinarea dinamicii nominale § 3.3, § 3.4) și determinarea modelului matematic al micromișcării, corespunzătoare mișcării nominale dorite, la fiecare moment de timp t^*.

Modelul dinamic al micromișcării este dat de relațiile

$$\mathbf{D}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{u} = \mathbf{c} \tag{3.72}$$

unde $\mathbf{u} \in R^{3n}$ este vectorul deplasărilor definite de relația (3.71), iar matricea $\mathbf{D} \in R^{3n \times 3n}$ și vectorul $\mathbf{c} \in R^{3n}$ trebuie determinate din procedura de modelare a structurilor elastice.

Algoritmii de generare a matricelor $\mathbf{D}$ și $\mathbf{c}$ sînt prezentați în detaliu în lucrarea [120].

Scanned with OKEN Scanner

3.6. SIMULAREA DINAMICII STRUCTURILOR MECANICE DE MANIPULARE AUTOMATĂ

Simularea dinamicii unei structuri mecanice de manipulare reprezintă rezolvarea problemei dinamice inverse și anume determinarea mișcării întregii structuri cînd se cunosc forțele generalizate. Problema dinamică directă determină forțele generalizate pentru o mișcare impusă manipulatorului.

În general, problema directă se rezolvă la comanda în timp real a structurii mecanice de manipulare. Evident, ea se poate rezolva și în regim de simulare, pentru analiza variației forțelor generalizate la diferite tipuri de mișcări impuse de aplicațiile industriale. În acest caz, se poate vorbi de o problemă de simulare în sens larg.

Dacă mișcarea manipulatorului este descrisă în coordonate generalizate (coordonate robot) $\mathbf{q}(t)$, $\mathbf{q}'(t)$ și $\mathbf{q}''(t)$, atunci problema de simulare în sens larg se rezolvă imediat descriind modelul dinamic sub forma:

$$\mathbf{P}(t) = \mathbf{g}(\mathbf{q}(t), \mathbf{q}'(t), \mathbf{q}''(t), \gamma) \tag{3.73}$$

unde γ reprezintă structura topologică și parametrii structurali ai manipulatorului studiat; $\mathbf{q}(t)$, $\mathbf{q}'(t)$ și $\mathbf{q}''(t)$ definesc mișcarea impusă; $\mathbf{g}(.)$ este modelul dinamic direct; $\mathbf{P}(t)$ variația forțelor generalizate care se calculează pentru mișcarea particulară; $(.) = (\mathbf{q}^{(t)}, \mathbf{q}'^{(t)}, \mathbf{q}''^{(t)}, \gamma)$.

În majoritatea aplicațiilor industriale, traiectoria de mișcare a mîinii robotului este descrisă în coordonate operaționale (carteziene, cilindrice etc.) care sînt proprii sarcinii particulare de îndeplinit.

Legătura dintre coordonatele operaționale și cele robot este dată de modelul geometric

$$\mathbf{x} = \mathbf{y}(\mathbf{q}) \tag{3.74}$$

unde $\mathbf{x} \in R^m$ este vectorul coordonatelor operaționale; $\mathbf{q} \in R^n$ este vectorul coordonatelor robot, iar funcția vectorială neliniară $\mathbf{y}(q)$ reprezintă modelul geometric al structurii mecanice de manipulare.

Problema dificilă este determinarea mișcării în coordonate robot $\mathbf{q}(t)$, $\mathbf{q}'(t)$, $\mathbf{q}''(t)$, din descrierea ei în coordonate operaționale $\mathbf{x}(t)$, $\mathbf{x}'(t)$, $\mathbf{x}''(t)$, pentru a fi folosită în relația (3.73) la determinarea forțelor generalizate. Diferențiind relația (3.74), se obține

$$\mathbf{x}'(t) = \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{q}} \mathbf{q}'(t), \quad \mathbf{x}''(t) = \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{q}} \mathbf{q}''(t) + \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{q}^2} (\mathbf{q}'(t))^2. \tag{3.75}$$

Scanned with OKEN Scanner

Notînd cu $\mathbf{x}^a = \mathbf{x}''$, $\mathbf{B} = \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{q}} \in R^{n \times n}$, $\mathbf{A} = \frac{\partial^2 \mathbf{y}}{\partial \mathbf{q}^2} \mathbf{q}'^2 \in R''$, ecuația (3.75) se transformă în

$$\mathbf{x}^a = \mathbf{B}\mathbf{q}'' + \mathbf{A} \tag{3.76}$$

Matricele **B** și **A** depind de $\mathbf{q}(t)$ și $\mathbf{q}'(t)$, care se calculează cu relațiile

$$\mathbf{q} = \mathbf{y}^{-1}(\mathbf{x}), \quad \mathbf{q}' = \left(\frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{q}}\right)^{-1} \mathbf{x}'. \tag{3.76}$$

Cunoscînd $\mathbf{q}$, $\mathbf{q}'$ se calculează matricele **A** și **B**, iar din relația (3.76) se determină $\mathbf{q}''$

$$\mathbf{q}'' = \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x}^a - \mathbf{A}) \tag{3.77}$$

Folosind vectorii $\mathbf{q}$, $\mathbf{q}'$, $\mathbf{q}''$ și modelul dinamic direct (v. § 2.4)

$$\mathbf{P} = \mathbf{W}\mathbf{q}'' - \mathbf{U} = g(\mathbf{q}, \mathbf{q}', \mathbf{q}'', \gamma) \tag{3.78}$$

se rezolvă problema simulării în sens larg.

Vectorul accelerației operaționale $\mathbf{x}^a$, care descrie mișcarea mîinii robotului, este format din accelerația liniară a centrului de greutate a mîinii $\mathbf{w}(t)$ și din accelerația unghiulară a mîinii $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$

$$\mathbf{x}^a = \begin{bmatrix} \mathbf{w}(t) \\ \boldsymbol{\varepsilon}\ (t) \end{bmatrix} \tag{3.79}$$

Conform § 3.3.5, există relațiile

$$\mathbf{w} = \boldsymbol{\Omega}\mathbf{q}'' + \boldsymbol{\Theta} \tag{3.80}$$
$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\Gamma}\mathbf{q}'' + \boldsymbol{\Phi}$$

care, împreună cu (3.79), generează

$$\mathbf{x}^a = \begin{bmatrix} \mathbf{w} \\ \boldsymbol{\varepsilon} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \boldsymbol{\Omega} \\ \boldsymbol{\Gamma} \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}} \mathbf{q}'' + \underbrace{\begin{bmatrix} \boldsymbol{\Theta} \\ \boldsymbol{\Phi} \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}} = \mathbf{B}\mathbf{q}'' + \mathbf{A}. \tag{3.81}$$

Ecuația (3.81) prezintă metoda de calcul a matricelor **A** și **B**.

Pentru exemplificarea operațiilor efectuate în timpul simulării în sens larg, se consideră manipulatorul cu patru grade de mobilitate din fig. 3.21. Acest robot poate să-și poziționeze mîna și să o orienteze parțial (deoarece are numai patru grade de mobilitate). Poziționarea parțială înseamnă că o axă a mîinii robotului coincide cu o direcție prescrisă din spațiul de lucru.

Scanned with OKEN Scanner

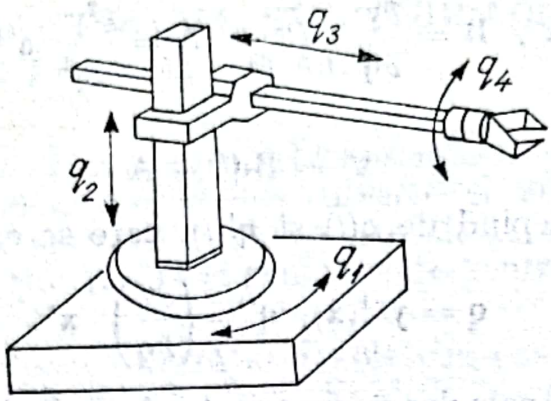


Fig. 3.21. Manipulator cu patru grade de mobilitate.

În cazul studiat, orientarea parțială se poate efectua cu al patrulea grad de mobilitate q_4, iar poziționarea (în coordonate carteziene $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$; în coordonate cilindrice $\varphi(t)$, $\theta(t)$ $z(t)$ sau în coordonate sferice $r(t)$, $\theta(t)$, $\varphi(t)$) se realizează cu primele trei grade de mobilitate q_1, q_2, q_3.

Traiectoria mîinii robotului poate fi definită în coordonate carteziene (fig. 3.22, *a*), cilindrice (fig. 3.22, *b*) sau sferice (fig. 3.22, *c*). Dacă traiectoria este descrisă în coordonate carteziene, atunci se cunoaște

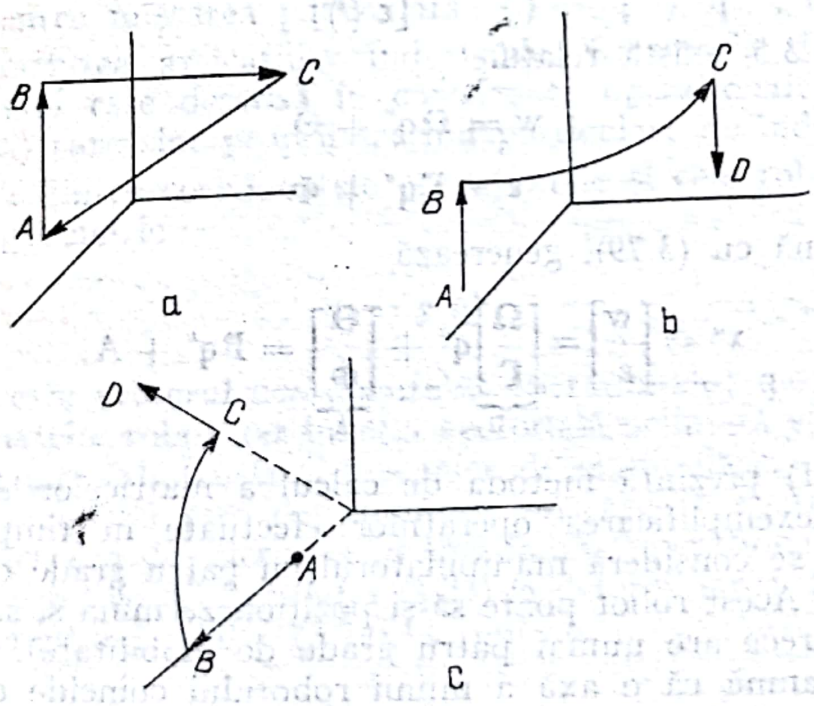


Fig. 3.22. Traiectorie de mișcare descrisă în coordonate carteziene (a), cilindrice (b), sferice (c).

accelerația liniară w și q_4''. Trebuie să se determine accelerațiile primelor trei grade de mobilitate (q_1'', q_2'', q_3'') cu ajutorul relației

$$\mathbf{W} = \mathbf{\Omega} \begin{bmatrix} q_1'' \\ q_2'' \\ q_3'' \\ q_4'' \end{bmatrix} + \mathbf{\Theta}.$$

Dacă traiectoria este descrisă în coordonate cilindrice (fig. 3.23, *a*) sau sferice (fig. 3.23, *b*), atunci trebuie întîi calculat vectorul accelerației liniare a centrului de masă a mîinii în coordonate carteziene:

— *coordonate cilindrice*

$$\begin{aligned} w_\rho &= \rho'' - \rho\theta'^2, \quad w_\theta = \rho\theta'' + 2\rho'\theta', \quad w_z = z'' \\ w_x &= w_\rho \cos\theta - w_\theta \sin\theta \\ w_y &= w_\rho \sin\theta + w_\theta \cos\theta \\ w_z &= z''; \end{aligned} \tag{3.82}$$

— *coordonate sferice*

$$\begin{aligned} w_r &= r'' - r\varphi'^2 - r\theta'^2 \cos^2\varphi \\ w_\theta &= 2r'\theta' \cos\varphi + r\theta'' \cos\varphi - 2r\rho'\theta' \sin\varphi \\ w_\varphi &= 2r'\varphi' + r\varphi'' + r \sin\varphi \cos\varphi\, \theta'^2 \\ w_x &= w_r \cos\varphi \cos\theta - w_\theta \sin\theta - w_\rho \sin\varphi \cos\theta \\ w_y &= w_r \cos\varphi \sin\theta + w_\theta \cos\theta - w_\rho \sin\varphi \sin\theta \\ w_z &= w_r \sin\varphi + w_\varphi \cos\varphi. \end{aligned} \tag{3.83}$$

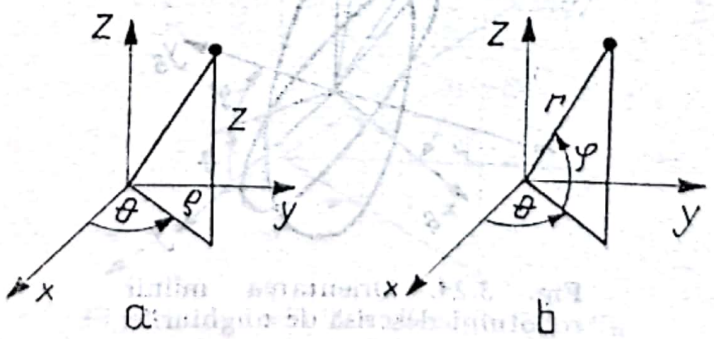


Fig. 2.33. Coordonate cilindrice (a), sferice (b).

Dacă se mai adaugă două grade de mobilitate la robotul din fig. 3.21, atunci se poate realiza o poziționare și o orientare totală. Orientarea mîinii este descrisă de cele trei unghiuri Euler $\theta(t)$, $\psi(t)$, $\varphi(t)$ (fig. 3.24).

Traiectoria mîinii robotului este definită de vectorii accelerație liniară w și unghiulară ε

$$\mathbf{w} = (x'' \; y'' \; z'')^T.$$

$$\varepsilon = \mathbf{A}_6 \left(\mathbf{T} \begin{bmatrix} \theta'' \\ \psi'' \\ \varphi'' \end{bmatrix} + \tilde{\mathbf{T}} \begin{bmatrix} \psi'\varphi' \\ \varphi'\theta' \\ \theta'\psi' \end{bmatrix} \right) \tag{3.84}$$

unde matricele $\mathbf{T}$ și $\tilde{\mathbf{T}}$ au forma

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos\psi & 0 & 1 \\ \sin\psi \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ \sin\psi \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \end{bmatrix}.$$

$$\tilde{\mathbf{T}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\sin\psi \\ -\sin\varphi & \sin\psi\cos\varphi & \cos\psi\sin\psi \\ -\cos\varphi & -\sin\psi\sin\varphi & \cos\psi\cos\varphi \end{bmatrix}$$

Matricea de rotație $\mathbf{A}_6$ se poate calcula în funcție de coordonatele generalizate, care descriu configurația robotului sau funcție de unghiurile Euler, care definesc orientarea mîinii robotului:

$$\mathbf{A}_6 = \mathbf{A}^\theta \, \mathbf{A}^\psi \, \mathbf{A}^\varphi$$

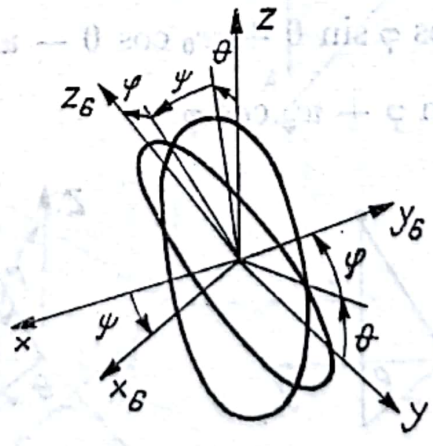


Fig. 3.24. Orientarea mîinii robotului descrisă de unghiurile Euler.

unde matricele A^θ, A^ψ și A^φ au forma

$$A^\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \tag{3.85}$$

$$A^\psi = \begin{bmatrix} \cos\psi & 0 & \sin\psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi \end{bmatrix}$$

$$A^\varphi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix}.$$

Folosind un robot cu șase grade de mobilitate se consideră aplicația de înșurubare a unui șurub (fig. 3.25). Pentru a ușura descrierea matematică a aplicației se consideră parametrii θ, φ ca în fig. 3.26, care definesc o direcție notată cu (b) .De mîna robotului se atașează un sistem de coordonate ortonormat cu axa x de-a lungul direcției b.

În figura 3.26 se vede cum pornind de la sistemul de referință inițial, printr-o rotație θ în jurul axei z și o rotație φ în jurul noii axe y

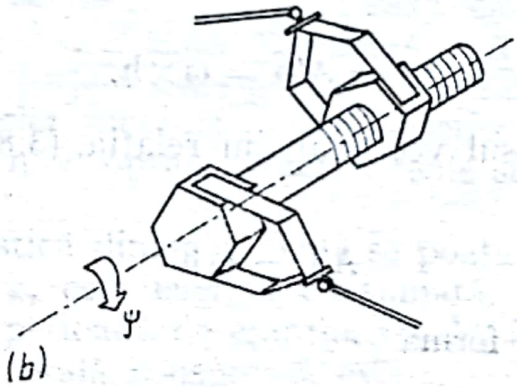


Fig. 3.25. Aplicație de înșurubare.

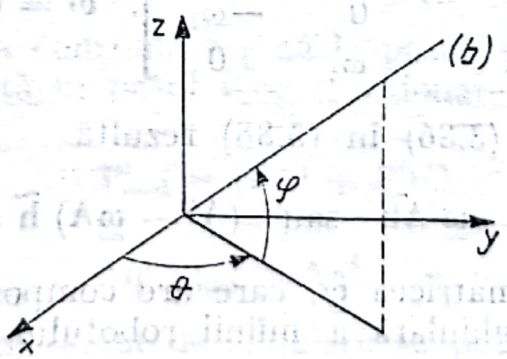


Fig. 3.26. Definirea direcției (b) din fig. 3.25.

formate, se ajunge la un sistem cu axa x în lungul direcției b. Rotația ψ a șurubului în jurul direcției b va corespunde cu rotația ψ în jurul axei x a sistemului de referință atașat mîinii.

Pentru aplicația de înșurubare este descrisă direcția b (definită de θ și φ), precum și rotația ψ în jurul direcției b. Mișcarea robotului este definită de vectorii w și ε.

Vectorul accelerație liniară w rezultă imediat; mai greu se calculează expresia accelerației unghiulare ε. Pentru calculul accelerației se determină întîi viteza unghiulară ω, apoi se derivează aceasta $\varepsilon = \omega'$. Se consideră un vector $\mathbf{h}$ legat de mîna robotului, care se exprimă în sistemul inerțial fix și în sistemul de referință mobil legat de mîna robotului (vectorul se notează în acest caz cu $\tilde{\mathbf{h}}$)

$$\mathbf{h} = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{h}} \quad \text{și} \quad \mathbf{h}' = \mathbf{A}'\tilde{\mathbf{h}} \tag{3.86}$$

unde $\mathbf{A}$ și $\mathbf{A}'$ sînt matricele de transformare de coordonate între cele două sisteme de referință, iar $\mathbf{A}'$ este derivata primei matrice. Ținînd seama că

$$\mathbf{h}' = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{h}$$

rezultă

$$\mathbf{h}' = \mathbf{A}'\tilde{\mathbf{h}} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{h}. \tag{3.87}$$

Exprimînd produsul vectorial din relația (3.87) sub formă matriceală, se obține

$$\mathbf{A}'\tilde{\mathbf{h}} = \underline{\boldsymbol{\omega}}\,\mathbf{h} \tag{3.88}$$

unde matricea $\underline{\boldsymbol{\omega}}$ are forma

$$\underline{\boldsymbol{\omega}} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_3 & \omega_2 \\ \omega_3 & 0 & -\omega_1 \\ -\omega_2 & \omega_1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\omega} = (\omega_1 \ \omega_2 \ \omega_3)^T$$

Folosind relația (3.86) în (3.88) rezultă

$$\mathbf{A}'\tilde{\mathbf{h}} = \underline{\boldsymbol{\omega}}\,\mathbf{A}\tilde{\mathbf{h}} \quad \text{sau} \quad (\mathbf{A}' - \underline{\boldsymbol{\omega}}\mathbf{A})\,\tilde{\mathbf{h}} = 0. \tag{3.89}$$

Din care se obține matricea $\underline{\boldsymbol{\omega}}$, care are componentele ω_1, ω_2, ω_3 ale vectorului viteză unghiulară a mîinii robotului

$$\underline{\boldsymbol{\omega}} = \mathbf{A}'\mathbf{A}^{-1} \tag{3.90}$$

Scanned with OKEN Scanner

Derivînd această relație se obține matricea

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \underline{\underline{\omega}}' = A''A^{-1} - A'A^{-1} = A''\,A^{-1} - \underline{\underline{\omega}}^2.$$

Determinarea accelerației unghiulare (vectorul $\boldsymbol{\varepsilon}$ se obține imediat din matricea $\underline{\underline{\varepsilon}}$) se reduce la calcularea matricei de transformare de coordonate între sistemul de coordonate legat de mînă și cel inerțial, precum și a primelor două derivate ale acestei matrice. Matricea $\mathbf{A}$ (numită și matrice de rotație) se poate exprima funcție de matricele de rotație elementare $\mathbf{A}^\theta$, $\mathbf{A}^\varphi$ și $\mathbf{A}^\psi$

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}^\theta\ \mathbf{A}^\varphi\ \mathbf{A}^\psi$$

unde

$$\mathbf{A}^\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{A}^\varphi = \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{A}^\psi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi \\ 0 & \sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix}.$$

Odată determinat vectorul $\boldsymbol{\varepsilon}$, calculele de simulare urmează, și pentru această aplicație, etapele prezentate anterior.

Avînd calculate forțele generalizate în fiecare articulație se poate analiza variația forțelor motoare pentru diferite clase de aplicații industriale și alege în mod optim caracteristicile sistemului de acționare al robotului.

O altă caracteristică dinamică, care se poate calcula cu rezultatele simulării în sens larg, este energia consumată. Sistemul de simulare calculează la fiecare perioadă de eșantionare Δt_i forța $\mathbf{P}^i$ în articulație. La pasul i, energia totală consumată este

$$E^i = E^{i-1} + E_{\Delta t_i}$$

unde E^{i-1} este energia consumată pînă la pasul $i-1$ inclusiv, iar $E_{\Delta t_i}$ este energia consumată în pasul i de eșantionare. Considerînd o forță medie

$$\mathbf{P}^i_{\text{med}} = (\mathbf{P}^{i-1} + \mathbf{P}^i)/2$$

rezultă

$$E_{\Delta t_i} = \Delta\mathbf{q}^i\ \mathbf{P}^i_{\text{med}}, \qquad \Delta\mathbf{q}^i = \mathbf{q}^i - \mathbf{q}^{i-1}$$

Tot în cadrul procesului de simulare se pot calcula eforturile în corpurile componente ale structurii și forțele de reacțiune din articulații. Fie articulația de rotație S_k (fig. 3.27). În această articulație

Scanned with OKEN Scanner

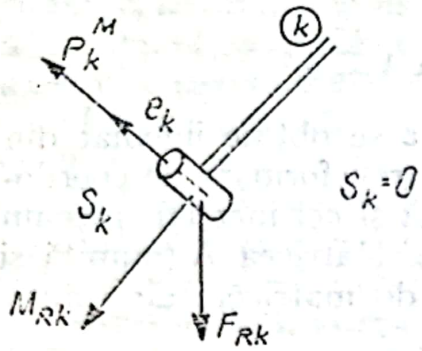


Fig. 3.27. Articulație de rotație.

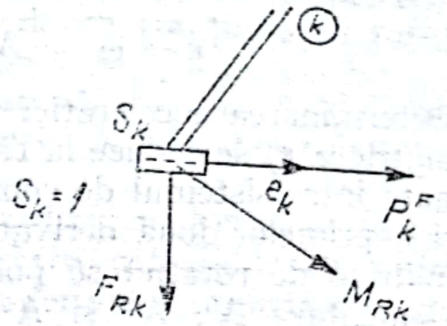


Fig. 3.28. Articulație de translație.

acționează cuplul motor $\mathbf{P}_k^M$ (paralel cu axa articulației), momentul de reacțiune $\mathbf{M}_{R_k}$ (perpendicular pe axa articulației) și forța de reacțiune $\mathbf{F}_{R_k}$.

Dacă articulația S_k este liniară (fig. 3.28), atunci forța motoare $\mathbf{P}_k^F$ este paralelă cu axa articulației, forța de reacțiune $\mathbf{F}_{R_k}$ este perpendiculară cu axa articulației, iar momentul de reacțiune, $\mathbf{M}_{R_k}$ are o direcție oarecare.

Pentru determinarea forțelor și momentelor de reacțiune se întrerupe, în mod fictiv, lanțul cinematic în articulația S_k și se înlocuiește efectul sublanțului cinetic de la baza structurii pînă la corpul C_k cu torsorul forțelor de reacțiune ($\mathbf{M}_{S_k}$, $\mathbf{F}_{R_k}$) și cel al forțelor motoare ($\mathbf{P}_k^F$ sau $\mathbf{P}_k^M$) funcție de tipul cuplei cinematice (translație sau rotație).

Pentru sublanțul cinematic rămas (corpurile $C_k \to C_{k+1} \to \ldots \to C_n$) se poate scrie următoarea ecuație

$$\mathbf{M}_{R_k} + (1 - s_k)\,\mathbf{P}_k = \sum_{i=k}^{n} \{\mathbf{r}_i^{(k)} \times m_i(\mathbf{w}_i - \mathbf{g}) + \mathbf{M}_i\} \qquad (3.91)$$

unde $\mathbf{w}_i$ este accelerația liniară a centrului de greutate a corpului C_i, $\mathbf{g}$ accelerația gravitațională; $\mathbf{r}_i^{(k)} = \mathbf{S}_k\mathbf{C}_i^*$ ($\mathbf{C}_i^*$ — centrul de greutate al corpului C_i), s_k un parametru care ia valoarea zero dacă S_k este cuplă de rotație și valoarea unu dacă S_k este cuplă de translație.

Momentele $\mathbf{M}_i$ se calculează cu ajutorul ecuațiilor Euler

$$\mathbf{M}_i = \mathbf{A}_i\tilde{\mathbf{M}}_i = \mathbf{A}_i[\tilde{\mathbf{J}}_i\tilde{\boldsymbol{\varepsilon}}_i - (\tilde{\mathbf{J}}_i\tilde{\boldsymbol{\omega}}_i) \times \tilde{\boldsymbol{\omega}}_i] \qquad (3.92)$$

unde $\mathbf{A}_i$ este matricea de transformare de coordonate între reperul de coordonate legat de corpul C_i și reperul de coordonate fix; $\tilde{\mathbf{M}}_i$, $\tilde{\mathbf{J}}_i$, $\tilde{\boldsymbol{\omega}}_i$, $\tilde{\boldsymbol{\varepsilon}}_i$ sînt momentul, tensorul de inerție, viteza și accelerația unghiulară ale corpului $\mathbf{C}_i$, exprimate în reperul de coordonate legat de corpul C_1.

Momentul total acționînd asupra corpului C_k în articulația S_k devine

$$\mathbf{M}_{S_k} = \mathbf{M}_{R_k} + (1 - s_k)\,\mathbf{P}_\kappa = \sum_{i=k}^{n}\{\mathbf{r}_i^{(k)} + m_i(\mathbf{w}_i - g) + \mathbf{M}_i\}. \qquad (3.93)$$

Calculînd momentul total $\mathbf{M}_{S_k}$ cu relația (3.93), rezultă imediat momentul de reacțiune

$$\mathbf{M}_{R_k} = \mathbf{M}_{S_k} - (1 - s_k)\,\mathbf{P}_k. \qquad (3.94)$$

Pentru determinarea forței de reacțiune $\mathbf{F}_{R_k}$ se calculează forța totală care acționează asupra corpului C_k în articulația S_k

$$\mathbf{F}_{S_k} = \mathbf{F}_{R_k} + s_k\mathbf{P}_k = \sum_{i=k}^{n} m_i(\mathbf{w}_i - \mathbf{g}). \qquad (3.95)$$

Din relația (3.96) rezultă

$$\mathbf{F}_{R_k} = \mathbf{F}_{S_k} - s_k\mathbf{P}_k. \qquad (3.96)$$

Dacă corpurile C_i ale manipulatorului se consideră bare cilindrice tubulare (fig. 3.29), atunci se pot calcula tensiunile care apar în segmentele structurii mecanice, cu ajutorul relațiilor prezentate mai jos.

Asupra corpului C_k forțele și momentele acționează ca în figura 3.30. Efortul maxim la încovoiere și la răsucire este dat de relațiile

$$\sigma_{max} = \frac{M^b_{max}}{W_x}; \quad \tau_{max} = \frac{M^t_{max}}{W_0}$$

$$W_x = \frac{D^3\pi}{32}\left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^4\right) \qquad (3.97)$$

$$W_0 = \frac{D^3\pi}{16}\left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^4\right)$$

$$M^b_{max} = \max\{|\mathbf{M}^{db}|, |\mathbf{M}^{upb}|\}\ ;\ M^t_{max} = \max\{|\mathbf{M}^{dt}|, |\mathbf{M}^{upt}|\}$$

unde momentele $\mathbf{M}^{db}$, $\mathbf{M}^{upb}$, $\mathbf{M}^{dt}$, $\mathbf{M}^{upt}$ sînt reprezentate în fig. 3.31.

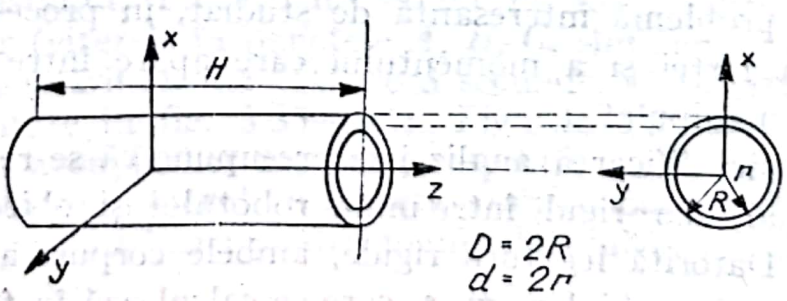


Fig. 3.29. Segment tubular al manipulatorului.

Scanned with OKEN Scanner

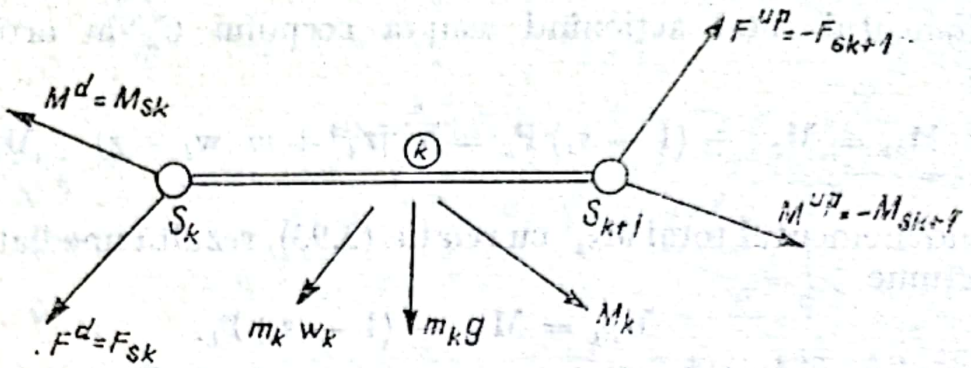


Fig. 3.30. Torsorul forțelor care acționează asupra corpului C_k.

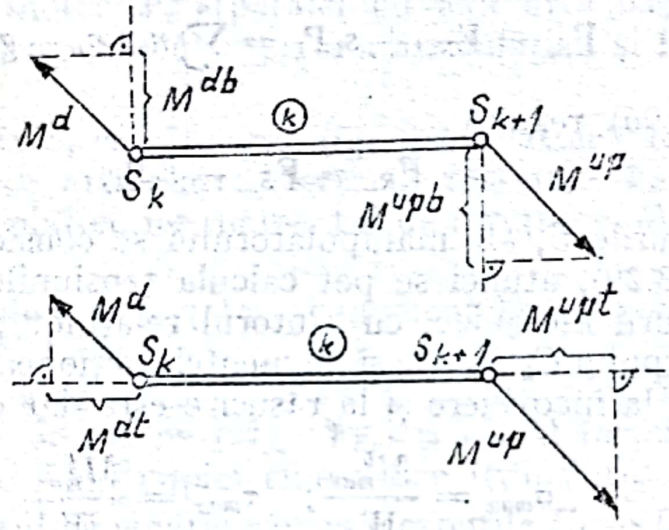


Fig. 3.31. Momentele de încovoiere și torsiune.

În analiza dinamică făcută pînă la acest punct al lucrării, obiectul manipulat a fost considerat ca făcînd parte din mîna robotului. Chiar dacă se cunoaște geometria și distribuția de mase a mîinii robotului și a obiectului manipulat, este destul de dificil de definit axele principale de inerție și tensorul de inerție al combinației mînă robot-obiect de manipulat.

O altă problemă interesantă de studiat, în procesul de simulare, este analiza forței și a momentului care apare între mîna robotului și obiectul manipulat.

Pentru simplificarea analizei se presupune că se realizează un contact punctual, dar rigid, între mîna robotului și obiectul transportat (fig. 3.32). Datorită legăturii rigide, ambele corpuri au aceleași accelerații liniare și unghiulare $\mathbf{w}$, $\boldsymbol{\varepsilon}$, care se calculează în fază de simulare.

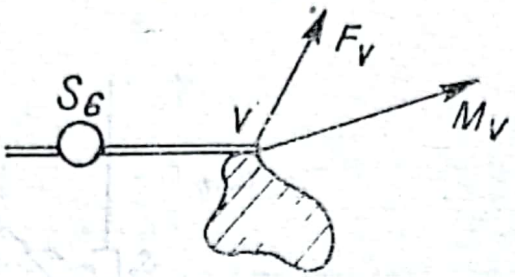


Fig. 3.32. Forțele de interacțiune mînă robot-obiect manipulat.

În determinarea forței și a momentului de legătură ($\mathbf{F}_v$, $\mathbf{M}_v$) se folosesc relațiile

$$F_v = m_p(\mathrm{w} - \mathrm{g})$$

$$\mathbf{M}_v = r_p \times m_p(\mathrm{w} - \mathrm{g}) + \mathbf{M}_p \tag{3.98}$$

$$\mathbf{M}_p = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{M}}_p; \quad \mathbf{r}_p = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{r}}_p$$

$$\tilde{\mathbf{M}}_p = \tilde{\mathbf{J}}_p\tilde{\varepsilon} - (\tilde{\mathbf{J}}_p\tilde{\omega}) \times \tilde{\omega}$$

unde m_p este masa corpului manipulat, $\mathbf{r}_p = \mathbf{VC}_p^*$ (C_p^* — centrul de greutate al obiectului manipulat), $\mathbf{A}$ matricea de transformare de coordonate între reperul de coordonate legat de mîna robotului și reperul fix; toate mărimile notate cu „$\sim$" sînt exprimate în reperul de coordonate al mîinii robotului.

Ecuațiile (3.98) permit calculul torsorului forțelor de legătură mînă-obiect ($\mathbf{F}_v$, $\mathbf{M}_v$).

În încheiere, pentru a ilustra mai bine metodele de analiză pozițională, cinematică și dinamică prezentate în capitolul 3, se vor prezenta două exemple [78]. Primul este un manipulator antropomorfic cu șase grade de mobilitate (fig. 3.33), iar al doilea este un manipulator în coordonate cilindrice, tot cu șase grade de mobilitate (fig. 3.34).

Aplicația, pentru care se realizează simularea în sens larg, este prezentată în fig. 3.35 și constă în deplasarea unei mase de 5 kg pe traiectoria triunghiulară *ABCA*, astfel încît mîna robotului păstrează o orientare constantă. Profilul de viteză pe fiecare porțiune liniară este triunghiular (vitezele în punctele *A*, *B*, *C*, sînt nule). Timpul total de execuție al mișcării *ABCA* este de 3 secunde. Rezultatele de simulare sînt prezentate în fig. 3.35—3.38. Figurile 3.35 și 3.36 prezintă variația în timp a cuplurilor motoare, respectiv a coordonatelor generalizate pentru manipulatorul cu structură antropomorfă. Figurile 3.37 și 3.38 prezintă același lucru pentru manipulatorul în coordonate cilindrice.

Scanned with OKEN Scanner

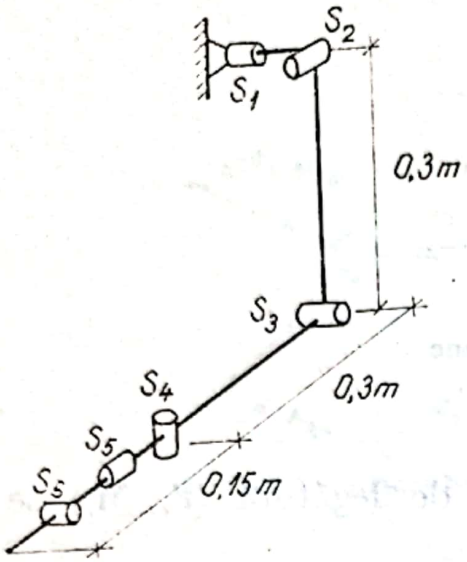


Fig. 3.33. Manipulator antropomorfic.

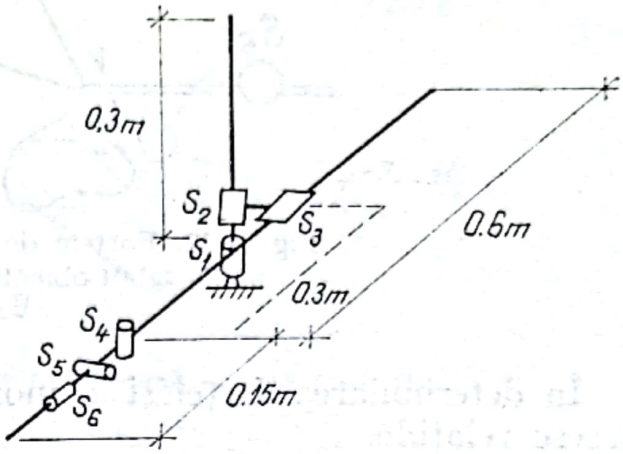


Fig. 3.34. Manipulator cilindric.

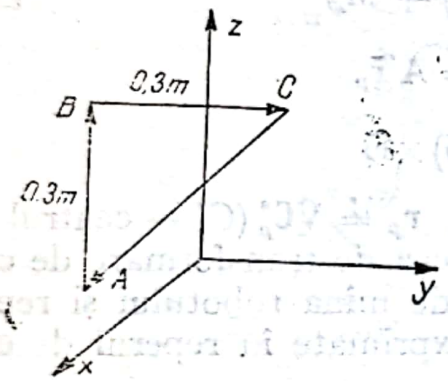


Fig. 3.35. Traiectorie de mișcare pentru simulare.

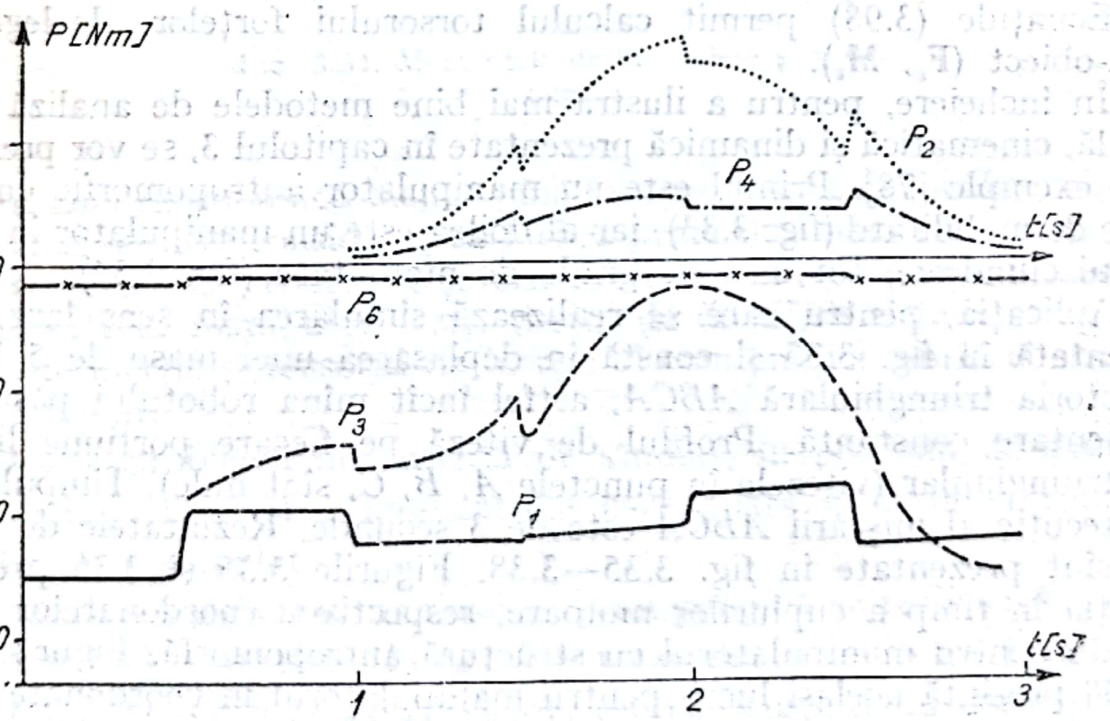


Fig. 3.36. Forțele motoare pentru robotul din fig. 3.33.

Scanned with OKEN Scanner

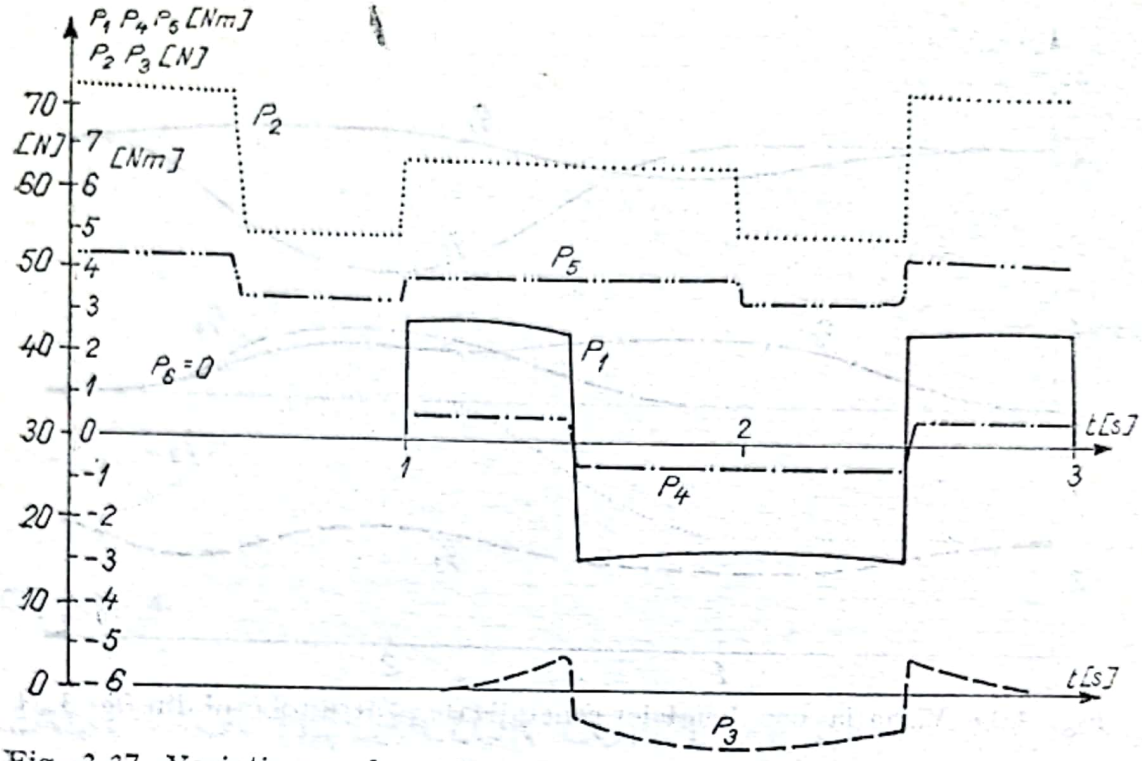


Fig. 3.37. Variația coordonatelor generalizate pentru robotul din fig. 3.33.

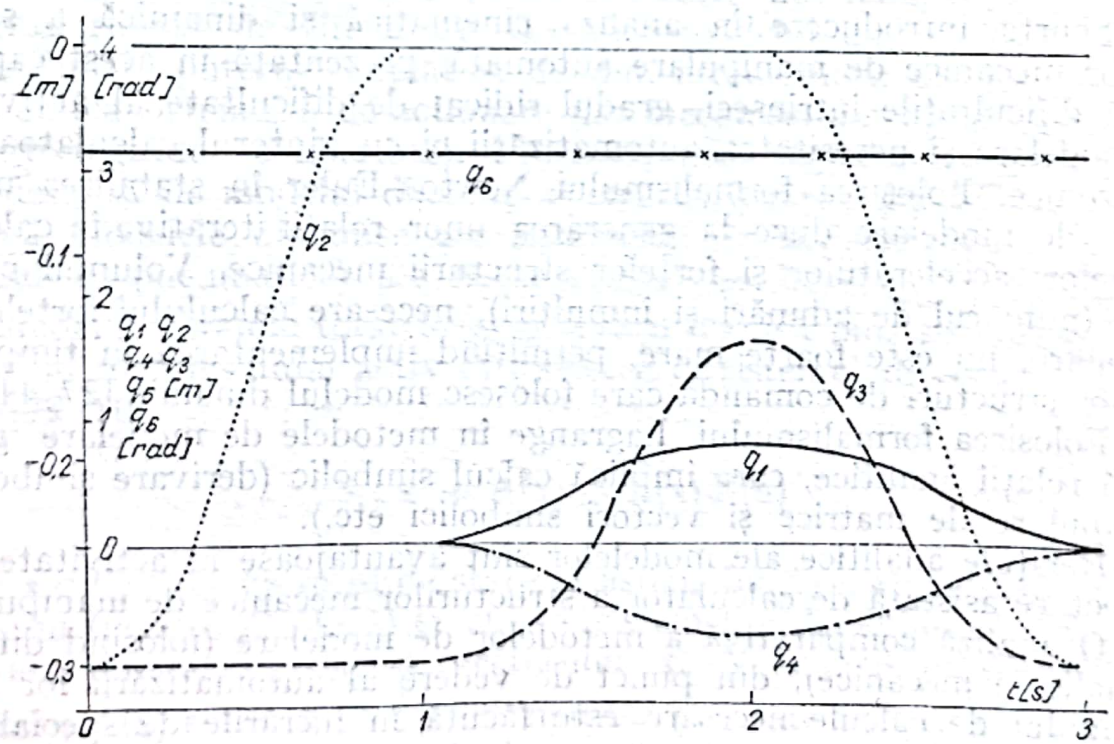


Fig. 3.38. Forțele motoare pentru robotul din fig. 3.34.

Scanned with OKEN Scanner

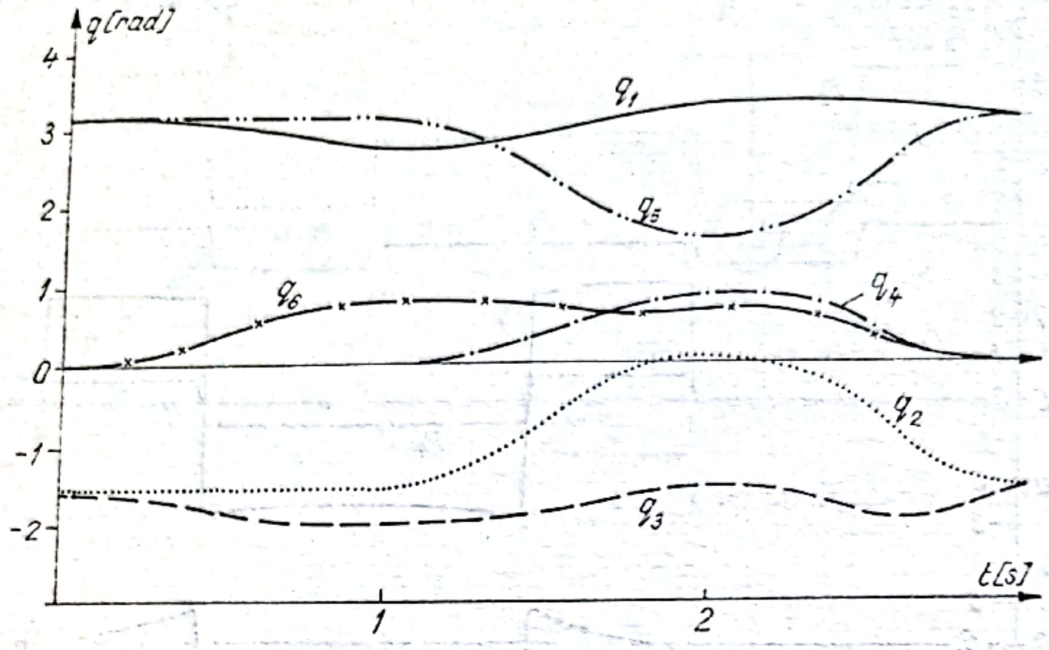


Fig. 3.39. Variația coordonatelor generalizate pentru robotul din fig. 3.34.

3.7. CONCLUZII

Scurta introducere în analiza cinematică și dinamică a structurilor mecanice de manipulare automată, prezentată în acest capitol, arată dificultățile intrinseci, gradul ridicat de dificultate al activității de modelare și necesitatea automatizării ei cu ajutorul calculatoarelor electronice. Folosirea formalismului Newton-Euler în stabilirea metodelor de modelare duce la generarea unor relații iterative în calculul vitezelor, accelerațiilor și forțelor structurii mecanice. Volumul calculelor (numărul de adunări și înmulțiri), necesare calculului forțelor de acționare, nu este foarte mare, permițînd implementarea în timp real a unor structuri de comandă care folosesc modelul dinamic [27, 44, 45].

Folosirea formalismului Lagrange în metodele de modelare generează relații analitice, care implică calcul simbolic (derivare simbolică, manipulare de matrice și vectori simbolici etc.).

Relațiile analitice ale modelelor sînt avantajoase în activitatea de proiectare asistată de calculator a structurilor mecanice de manipulare.

O analiză comparativă a metodelor de modelare (folosind diferite formalisme mecanice), din punct de vedere al automatizării lor și al volumului de calcule necesare este făcută în lucrările de specialitate [121, 27, 44].

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 4

REALIZAREA MIȘCĂRILOR COMPLEXE LA MECANISMELE SPAȚIALE ACTIVE

Comanda mișcării structurilor mecanice de manipulare prezintă un grad ridicat de dificultate, deoarece modelul dinamic (v. cap. 3) este neliniar, puternic cuplat și de dimensiuni mari, cînd se adaugă și dinamica sistemului de actionare (iar mecanismul spațial activ depășește trei grade de libertate). Dinamica mecanismelor spațiale active este descrisă de modelul dinamic al structurii mecanice S^M, la care se adaugă modelele dinamice ale sistemelor de acționare S^I (electrice, hidraulice, pneumatice) ale fiecărui grad de libertate.

Modelul dinamic total S (structură mecanică plus sisteme de acționare) al mecanismului activ este descris de sistemul de ecuații diferențiale [79, 80]

$$S : \mathbf{x}' = \hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x}) + \hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x})\,\mathbf{N}(\mathbf{u}) \tag{4.1}$$

unde $\mathbf{x} \in R^N$ este vectorul de stare al sistemului, format din starea mecanismului (poziție și viteză) și starea sistemelor de acționare, $\mathbf{x}' \in R^N$ derivata funcție de timp a vectorului $\mathbf{x}$, N dimensiunea sistemului dinamic, $\hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x}) \in R^N$, $\hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x}) \in R^{N\times n}$ matrice generate în urma procesului de modelare, $\mathbf{u} \in R^n$ vectorul de comandă, n numărul gradelor de

Scanned with OKEN Scanner

libertate ale structurii mecanice, $\mathbf{N}(\mathbf{u}) = [N(u^1)\ N(u^2) \ldots N(u^n)]^T$ funcție neliniară de tip saturație, caracteristică sistemului de acționare.

În acest capitol va fi studiată proiectarea unui sistem de comandă pentru modelul dinamic (4.1) în ipoteza că toate stările sînt măsurabile (mărimile de ieșire $\mathbf{y}$ ale sistemului coincid cu starea sa $\mathbf{x}$). Dacă numai o parte din stările $\mathbf{x}$ sînt măsurabile, celelalte se pot estima [79].

Se presupune că sînt îndeplinite condițiile de existență și unicitate ale soluției sistemului (4.1) pe intervalul de timp $T = \{t : t \in (0, \tau)\}$, $\tau > 0$, pe care se execută mișcarea mecanismului.

Astfel, pentru fiecare comandă particulară $\mathbf{u}(t)$ există o soluție unică $\mathbf{x}(0) \in \mathbf{X}^t$, $\mathbf{X}^t \subset R^N$ și $\mathbf{x}(t) \in \mathbf{X}^t$, $\forall t \in T$, iar matricele $\hat{\mathbf{A}}(.)$ și $\hat{\mathbf{B}}(.)$ sînt continue și diferențiabile în raport de $\mathbf{x}$ pe $\mathbf{X}^t$.

Comanda mișcării mecanismului spațial activ descris de ecuațiile (4.1) înseamnă transferarea stării $\mathbf{x}$ a sistemului, dintr-o stare inițială arbitrară, într-o stare finală, într-un interval de timp stabilit. Starea finală, timpul de execuție a mișcării sînt stabilite de nivelele ierarhice superioare ale sistemului de comandă, funcție de aplicația industrială, de restricțiile din spațiul de lucru etc.

În multe aplicații, starea inițială aparține unui subspațiu mărginit $\mathbf{X}^I \subset R^N$, iar transferul trebuie făcut într-un subspațiu mărginit $\mathbf{X}^F \subset R^N$, care include starea finală.

Transferul se efectuează într-un interval de timp $\tau_s \leqslant \tau$, iar comportarea sistemului este stabilă dacă $\forall \mathbf{x}(0) \in \mathbf{X}^I$ implică

$\mathbf{x}(t) \in \mathbf{X}^F$, $\forall t \in T_s = \{t : t \in (\tau_1, \tau)\}$ și $\mathbf{x}(t) \in \mathbf{X}^t$, $\forall t \in T (\mathbf{X}^I \subseteq \mathbf{X}^t$; $\mathbf{X}^F \subseteq \mathbf{X}^t)$.

Multe din aplicațiile industriale reale ale mecanismelor spațiale active se pot include în formalizarea matematică anterioară. Astfel, un robot folosit în operații de asamblare necesită și mișcări grosiere de aducere a obiectului în apropierea stației de asamblare. Poziția și orientarea lui pot varia în limite destul de largi, definind subspațiul $\mathbf{X}^F$. Poziția și orientarea inițială a obiectului este bine cunoscută, dar perturbațiile care apar în timpul mișcării (între starea inițială și cea finală) pot fi reduse la variații ale stării inițiale definind astfel subspațiul $\mathbf{X}^I$.

În timpul mișcării trebuie ocolite obstacolele și respectate restricțiile cinematice intrinseci structurii mecanice, deci se definește spațiul $\mathbf{X}^t$.

Din condiții de eficiență, mișcarea de manipulare a obiectului trebuie să se termine într-un interval de timp τ_s prestabilit.

Chiar și operațiile precise de asamblare, cum ar fi inserția unui bolț într-un alezaj, pot fi definite ca mai sus, impunînd condiții mult mai restrictive generării subspațiilor $\mathbf{X}^I$, $\mathbf{X}^t$, $\mathbf{X}^F$. La proiectarea comenzii $\mathbf{u}(t)$ se poate impune minimizarea unui criteriu de performanță

Scanned with OKEN Scanner

(minimizarea energiei consumate, minimizarea timpului de execuție a mișcării etc.) [121, 45].

$$I = \int_0^{t_s} L(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t))\, dt + g(\mathbf{x}(t_s)) \qquad (4.2)$$

unde $t_s \leqslant \tau$ este timpul final nefixat, $L \in R^{N \times n} \to R$ o funcție scalară continuă și diferențiabilă, $g: R^N \to R$ o funcție scalară, numită funcția cost finală.

Sinteza unei mărimi de comandă $\mathbf{u}(t)$ care să satisfacă (4.1) și (4.2) se poate face folosind principiul maximului sau programarea dinamică [45]. Structurile de comandă rezultate sînt în circuit deschis, depinzînd de starea inițială $\mathbf{x}(0)$. Din această cauză, procesul de sinteză al comenzii $\mathbf{u}(t)$ trebuie repetat pentru fiecare stare inițială $\mathbf{x}(0)$. Cum se prezintă și în lucrarea [121], acest tip de structură de comandă este foarte greu de implementat în timp real (cost ridicat, putere mare de calcul, sensibilitate mare la variația parametrilor modelului (4.1) etc.). Dificultățile mari în proiectare se datoresc neliniarităților modelului dinamic (4.1).

O clasă de metode de proiectare [121, 45] rezolvă dificultățile impuse de neliniaritatea modelului în felul următor:

— calculează traiectoria de mișcare a mecanismului activ (în cele mai multe aplicații acest calcul poate fi făcut înaintea începerii mișcării mecanismului spre punctul țintă dorit);

— liniarizează modelul dinamic (4.1) de-a lungul traiectoriei calculate;

— sintetizează o lege de comandă care asigură stabilitatea sistemului liniar și minimizează criteriul de performanță (4.2). Proiectarea poate fi făcută centralizat (considerînd întregul sistem dinamic (4.1)), sau descentralizat, împărțind sistemul în subsisteme, corespunzătoare fiecărui grad de libertate, neglijînd cuplajele între axele motoare și calculînd legi de comandă locale;

— verificarea, pe sistemul neliniar inițial, asigurării stabilității globale și nedepășirii unei limite admisibile a indicelui de performanță (4.2.). Cum se arată în lucrarea [27] stabilitatea globală a sistemului poate fi asigurată prin mărirea factorilor de amplificare care intervin în legea de comandă. Dar mărirea amplificărilor poate avea efecte negative asupra posibilităților de implementare.

În abordarea descentralizată a sintezei legii de comandă, ipoteza unei cuplări slabe între subsisteme (corespunzătoare gradelor de libertate) nu este îndeplinită la majoritatea mecanismelor spațiale active de tip antropomorfic.

Cuplajele între subsisteme se manifestă prin forțe și cupluri induse în articulația i de mișcarea articulației j.

Scanned with OKEN Scanner

Torsorul acestor forțe poate fi măsurat cu ajutorul unor senzori, sau calculat folosind modelul dinamic al mecanismului activ. Informația de forță obținută este folosită la compensarea cuplajelor între subsisteme. Măsurarea forțelor de cuplaj implică echiparea structurii mecanice cu senzori, iar calcularea lor funcție de modelul dinamic necesită mărirea cu mult a puterii de calcul a structurii de comandă. Abordarea proiectării legii de comandă, după metoda prezentată anterior, este foarte complexă și poate să nu dea rezultate la aplicarea pe sistemul mecanic real.

În lucrările de specialitate [27, 44, 45, 76, 77, 78] se prezintă și alte metode de abordare a sintezei legilor de comandă pentru structuri mecanice de manipulare. În continuare se va prezenta în detaliu metoda de sinteză propusă în lucrarea [121].

Ideal ar fi ca modelul dinamic folosit în sinteza comenzii să fie un model aproximat (cît mai simplu, dar în același timp cît mai aproape de sistemul real).

Pentru aceasta, activitatea de proiectare se împarte în două faze: realizarea *dinamicii nominale* și a *dinamicii perturbate*.

În faza de proiectare a dinamicii nominale rezultă legea de comandă programată $\mathbf{u}^0(t)$, care transformă sistemul dinamic (4.1) din starea inițială $\mathbf{x}^0(0) \in \mathbf{X}^I$, într-un punct al subspațiului $\mathbf{X}^F$, într-un interval de timp finit $\tau_s < \tau$. Proiectarea lui $\mathbf{u}^0(t)$ se face pentru modelul dinamic exact (4.1) al structurii mecanice, înaintea execuției mișcării (off-line).

Acest lucru este posibil deoarece traiectoriile de mișcare ale mecanismului activ se cunosc pentru fiecare aplicație industrială, care se desfășoară într-un mediu cunoscut apriori și netransformabil. Evident, în aplicațiile industriale în care mediul este necunoscut, sau în continuă transformare, cînd traiectoria este stabilită în timp real, funcție de informația senzorială, metoda de sinteză a comenzii programate, prezentată în acest capitol, nu mai poate fi aplicată.

Proiectarea comenzii fiind făcută funcție de întreg modelul dinamic (model exact), o parte din forțele de cuplaj între gradele de libertate sînt incluse în $\mathbf{u}^0(t)$.

În mod ideal, în absența perturbațiilor și a erorilor de modelare, sistemul (4.1) sub acțiunea comenzii programate $u^0(t)$ aplicate în circuit deschis realizează traiectoria dorită pentru structura mecanică.

În faza a doua a proiectării, se calculează comanda $\mathbf{u}(t)$, care transferă sistemul dinamic (4.1) în regiunea $\mathbf{X}^F$, cînd apar perturbații ale condiției inițiale $\mathbf{x}(0) \in \mathbf{X}^I$.

Perturbațiile stării inițiale $\mathbf{x}(0) \in \mathbf{X}^I$ sînt rezultatul perturbațiilor externe, care apar în urmărirea traiectoriei nominale, erorilor de mode-

Scanned with OKEN Scanner

lare, variației sarcinii utile manipulate etc. Comanda totală a sistemului va fi de forma

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}^0(t) + \Delta\mathbf{u}(t) \tag{4.3}$$

și va asigura

$$\forall \mathbf{x}(0) \in \mathbf{X}^I, \quad \mathbf{X}(t, \mathbf{x}(0)) \in \mathbf{X}^t, \quad \forall t \in T$$

$$\mathbf{x}(t, \mathbf{x}(0)) \in \mathbf{X}^F, \quad \forall t \in T_s.$$

În faza a doua de proiectare se folosește modelul dinamic liniarizat al abaterilor față de traiectoria nominală. Se pot aplica metode de sinteză centralizată sau descentralizată, specifice sistemelor liniare.

În acest fel se asigură urmărirea traiectoriei nominale în prezența perturbațiilor externe.

4.1. SINTEZA COMENZII PROGRAMATE

În această primă fază se determină comanda programată $\mathbf{u}^0(t)$, $\forall t \in T$, care transferă sistemul dinamic (4.1), dintr-o stare inițială $\mathbf{x}^0(0) \in \mathbf{X}^I$, într-o stare finală dorită $\mathbf{x}^0(\tau_s) \in \mathbf{X}^F$, în intervalul de timp $\tau_s < \tau$, iar traiectoria de stare nominală corespunzătoare comenzii $\mathbf{u}^0(t)$ satisface condițiile $\mathbf{x}^0(t, (\mathbf{x}^0(0)) \in \mathbf{X}^t$, $\forall t \in T$ și $\mathbf{x}^0(t, \mathbf{x}^0(0)) \in \mathbf{X}^F$, $\forall t \in T_s$.

Pentru simplificare se notează traiectoria de stare nominală cu $\mathbf{x}^0(t)$ în loc de $\mathbf{x}^0(t, \mathbf{x}^0(0))$.

Sinteza traiectoriei nominale poate fi făcută printr-o abordare cinematică sau dinamică.

La determinarea traiectoriei nominale cinematice se folosește modelul cinematic, neglijînd dinamica mecanismului spațial activ. Realizarea traiectoriei, în intervalul de timp planificat, trebuie verificată și în prezența dinamicii structurii mecanice.

Traiectoria nominală dinamică se calculează funcție de modelul dinamic și constituie obiectul analizei acestui paragraf.

Pentru început, se consideră sinteza unei comenzi programate optimale, care minimizează indicele de performanță $J(\mathbf{u}, \mathbf{x}^0(0))$. Comanda

Scanned with OKEN Scanner

optimală $\mathbf{u}^0(t)$, corespunzătoare traiectoriei nominale $\mathbf{x}^0(t)$ și a vectorului adjunct $\mathbf{p}^0(t)$, trebuie să satisfacă sistemul canonic [121, 44]

$$\mathbf{x}'^0(t) = \frac{\partial H^T}{\partial p} \quad (\mathbf{x}^0(t), \quad \mathbf{p}^0(t), \quad \mathbf{u}^0(t))$$
$$\mathbf{p}'^0(t) = \frac{\partial H^T}{\partial \mathbf{x}} \quad (\mathbf{x}^0(t), \quad \mathbf{p}^0(t), \quad \mathbf{u}^0(t)) \tag{4.4}$$

unde

$$- p_i^c(t_s) = \frac{\partial g^T(\mathbf{x}(ts))}{\partial x_i}, \quad i = i_1 + 1, \ldots, N.$$

$- \mathbf{x}^0(0)$ este cunoscut, iar $\mathbf{x}^0(t_s) \in \mathbf{X}^F$;

$$- \frac{\partial \mathbf{H}^T}{\partial \mathbf{u}} (\mathbf{x}^0(t), \mathbf{p}^0(t), \quad \mathbf{u}^0(t)) = 0;$$

$$- H(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \mathbf{u}) = \mathrm{L}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) + \mathbf{p}^T(\hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x}) + \hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x})\mathbf{u}); \quad H(.) : R^{N \times N \times n} \xrightarrow{} R.$$

Se presupune că restricția $\mathbf{x}^0(t_s) \in \mathbf{X}^F$ impune condiții pe i_1 componente ale vectorului de stare, celelalte $N - i_1$ componente rămînînd libere. Dimensiunile sistemului (4.4) sînt relativ mari $2N + n$. Pentru un mecanism spațial activ cu șase grade de libertate și cu sisteme de acționare descrise de ecuații diferențiale de ordinul trei, dimensiunea sistemului (4.4) este de 42.

În cazul unui indice de performanță pătratic

$$J(\mathbf{u}, \ \mathbf{x}^0(0)) = \int_0^{t_s} \left(\frac{1}{2} \mathbf{u}^T \mathbf{R}\mathbf{u} + \mathbf{x}^T \mathbf{S}\mathbf{u} \right) dt; \quad \mathbf{R} > 0; \quad \mathbf{S} > 0 \tag{4.5}$$

sistemul (4.4) se transformă în

$$\mathbf{x}'^0(t) = \hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x}^0) + \hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x}^0)\, \mathbf{u}^0(t) \tag{4.6}$$

$$\mathbf{p}'^0(t) = -\mathbf{S}\mathbf{u}^0(t) - \left(\frac{\delta \hat{\mathbf{A}}^T(\mathbf{x}^0)}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{u}^{0T}(t) \frac{\delta \hat{\mathbf{B}}^T(\mathbf{x}^0)}{\partial \mathbf{x}} \right) \mathbf{p}^0(t)$$

$$\mathbf{R}\mathbf{u}^0(t) + \mathbf{S}^T \mathbf{x}^{\,0}(t) + \hat{\mathbf{B}}^T(\mathbf{x}^0)\, \mathbf{p}^0(t) = 0$$

unde $\mathbf{x}^0(0)$ este cunoscut, $\mathbf{x}^0(t_s) \in \mathbf{X}^F$ și $p_i^0(t_s) = 0, \quad i = i_1 + 1, \ldots, N.$

Scanned with OKEN Scanner

Rezolvarea sistemului (4.6) necesită determinarea funcțiilor neliniare $\hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x})$, $\hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x})$ și a derivatelor lor parțiale $\frac{\partial \hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}}$, $\frac{\partial \hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}}$ [79]

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x}) &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{F}(\mathbf{I}_n - \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{F})^{-1}[\tilde{\mathbf{H}}^T\mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{h}] \\ \tilde{\mathbf{B}}(\mathbf{x}) &= \mathbf{B} + \mathbf{F}(\mathbf{I}_n - \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{F})^{-1}\tilde{\mathbf{H}}^T\mathbf{B} \end{aligned} \tag{4.7}$$

unde $\mathbf{A} = \operatorname{diag}(\mathbf{A}^i) \in R^{N\times N}$, $\mathbf{B} = \operatorname{diag}(\mathbf{B}^i) \in R^{N\times n}$, $\mathbf{F} = \operatorname{diag}(\mathbf{F}^i) \in R^{N\times n}$ sînt matrice constante ale sistemului de acționare; $\mathbf{h}(\mathbf{q}, \mathbf{q}')$, $\tilde{\mathbf{H}}(\mathbf{q})$ sînt matrice ale modelului dinamic al structurii mecanice; iar matricea $\mathbf{T}$ este definită de $\mathbf{T} = \operatorname{diag}(\mathbf{T}^i) \in R^{n\times N}$, $T^i \in R^{ni}$; $q_i' = \mathbf{T}^i x_i'$ (una din componentele vectorului de stare a sistemului de acționare corespunde cu viteza structurii mecanice).

Derivînd relațiile (4.7) se obține

$$\begin{aligned} \frac{\partial \tilde{\mathbf{A}}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} = \mathbf{A} + \mathbf{F}(\mathbf{I}_n - \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{F})^{-1}\Bigg[\frac{\partial \tilde{\mathbf{H}}}{\partial \mathbf{x}}\mathbf{T}\mathbf{F}(\mathbf{I}_n - \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{F})^{-1}(\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{h}) + \\ + \frac{\partial \tilde{\mathbf{H}}}{\partial \mathbf{x}}\mathbf{T}\mathbf{A}\mathbf{x} + \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{A} + \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{x}}\Bigg] \end{aligned} \tag{4.8}$$

$$\frac{\partial \tilde{\mathbf{B}}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} = \mathbf{F}(\mathbf{I}_n - \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{F})^{-1}\Bigg[\frac{\partial \tilde{\mathbf{H}}}{\partial \mathbf{x}}\mathbf{T}\mathbf{F}(\mathbf{I}_n - \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{F})^{-1}(\tilde{\mathbf{H}}\mathbf{T}\mathbf{B} + \frac{\partial \tilde{\mathbf{H}}}{\partial \mathbf{x}}\mathbf{T}\mathbf{B}\Bigg].$$

Deoarece matricea $\tilde{\mathbf{H}}$ a modelului dinamic depinde numai de vectorul coordonatelor generalizate $\mathbf{q}$, rezultă

$$\frac{\partial \tilde{\mathbf{H}}}{\partial \mathbf{x}_j} = [\mathbf{H}_p^j \; 0 \; 0], \quad \mathbf{H}_p^j \in \mathbf{R}^{n\times n}, \quad \mathbf{H}_p^j = \frac{\partial \tilde{\mathbf{H}}}{\partial \mathbf{q}_j} \tag{4.9}$$

Vectorul $\mathbf{h} = \mathbf{h}(\mathbf{q}, \mathbf{q}')$ depinde numai de coordonatele și vitezele generalizate:

$$\frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{x}_j} = [\mathbf{h}_p^j \, \mathbf{h}_v^j \, 0], \quad \mathbf{h}_p^j = \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial q_j} \in R^n, \quad \mathbf{h}_v^j = \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial q_j} \in R^n. \tag{4.10}$$

Calculul relațiilor (4.7)—(4.10) este complex, dar este efectuat de calculator într-o fază „off-line".

După construcția sistemului (4.6), cu ajutorul relațiilor (4.7)—(4.10), el trebuie rezolvat pentru determinarea comenzii programate $\mathbf{u}^0(t)$.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru aceasta, se folosesc primele două ecuații și se verifică că soluția satisface a treia ecuație din (4.6). Acest algoritm se repetă iterativ pînă la determinarea comenzii programate.

Se presupune, la pasul k al iterației, că s-a calculat comanda $\mathbf{u}_0^0(t)$, căreia îi corespunde traiectoria nominală $\mathbf{x}_0^0(t)$

$$\mathbf{x}_0^{0\prime}(t) = \hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x}_0^0) + \hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x}_0^0)\,\mathbf{u}_0^0(t), \quad \mathbf{x}_0^0(t_s) \in \mathbf{X}^F.$$

A doua ecuație din (4.6) se integrează începînd de la timpul t_s și cu $N-i_1$ condiții la limită $p_{i0}^0(t_s)$ alese ($\mathbf{p}_0^0(t)$ corespunde traiectoriei $\mathbf{x}_0^0(t)$). Cu vectorii $\mathbf{x}_0^0(t)$, $\mathbf{u}_0^0(t)$, $\mathbf{p}_0^0(t)$ calculați la iterația k a algoritmului se verifică ecuația a treia din (4.6).

Dacă ea nu este verificată atunci se modifică comanda inițială $\mathbf{u}_0^0(t)$ cu

$$\begin{aligned}\delta\mathbf{u}_0^0(t) &= -k\frac{\partial H^T}{\partial \mathbf{u}}(\mathbf{x}_0^0(t), \quad \mathbf{p}_0^0(t), \quad \mathbf{u}_0^0(t)) = \\ &= -k(\mathbf{R}\mathbf{u}_0^0(t) + \mathbf{S}^T\mathbf{x}_0^0(t) + \hat{\mathbf{B}}^T(\mathbf{x}_0^0)\,\mathbf{p}_0^0(t)).\end{aligned} \tag{4.11}$$

Dacă constanta k și mulțimea condițiilor la limită $p_{i0}^0(t_s)$ sînt alese corespunzător, atunci algoritmul de calcul este convergent și are ca rezultat comanda programată [121, 45].

4.2. SINTEZA COMENZII CARE ASIGURĂ URMĂRIREA TRAIECTORIEI NOMINALE

Sistemul de comandă a mișcării (în timp real) trebuie să asigure urmărirea traiectoriei nominale $\mathbf{x}^0(t)$ (corespunzătoare comenzii programate calculate în § 4.1), cu păstrarea stabilității întregului sistem.

Sinteza comenzii $\mathbf{u}(t)$ se face pe modelul dinamic al abaterii față de traiectoria nominală

$$\Delta\mathbf{x}' = \bar{\mathbf{A}}^0(\Delta\mathbf{x}, t) + \bar{\mathbf{B}}^0(\Delta\mathbf{x}, t)\,\mathbf{N}(t, \Delta\mathbf{u}) \tag{4.12}$$

cu condiția inițială

$$\Delta\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}(0) - \mathbf{x}^0(0).$$

Scanned with OKEN Scanner

În relația (4.12) matricele $\overline{\mathbf{A}}^0$, $\overline{\mathbf{B}}^0$ și $\mathbf{N}$ se calculează cu

$$\overline{\mathbf{A}}^0(\Delta\mathbf{x}, t) = \hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x}) - \hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x}^0(t)) + [\hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x}) - \hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x}^0(t))]\,\mathbf{u}^0(t)$$

$$\overline{\mathbf{B}}^0(\Delta\mathbf{x}, t) = \hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x}) = \hat{\mathbf{B}}(\Delta\mathbf{x} + \mathbf{x}^0(t)) \tag{4.13}$$

$$\mathbf{N}(t, \Delta u^i) = \begin{cases} -u_m^i - u^{0i}(t)\,; & \Delta u^i \leqslant -u_m^i - u^{0i}(t) \\ \Delta u^i \quad\quad\quad\; ; & -u_m^i \leqslant u^i + u^{0i}(t) \leqslant u_m^i \\ u_m^i - u^{0i}(t) \quad ; & \Delta u^i \geqslant U_m^i - u^{0i}(t) \end{cases}$$

unde u_m^i sînt valorile la care se saturează comanda aplicată sistemului.

Se verifică imediat că punctul de echilibru al sistemului (4.12) este ($\Delta\mathbf{u} = 0$, $\Delta\mathbf{x} = 0$).

Comanda $\Delta\mathbf{u}(t)$ asigură stabilitatea sistemului dacă, pentru condiții inițiale în subspațiul $\overline{\mathbf{X}}^I = \mathbf{X}^I - \mathbf{x}^0(0)$, starea sistemului satisface condițiile $\Delta\mathbf{x}(t) \in \overline{\mathbf{X}}^t = \mathbf{X}^t - \mathbf{x}^0(t)$, $\forall t \in T$ și $\Delta\mathbf{x}(t) \in \overline{\mathbf{X}}^F(t) = \mathbf{X}^F - \mathbf{x}^0(t)$, $\forall t \in T_s$.

Proiectarea comenzii $\Delta\mathbf{u}(t)$ poate fi făcută prin metode centralizate sau descentralizate (pe fiecare grad de libertate).

4.2.1. METODA CENTRALIZATĂ DE SINTEZĂ A COMENZII

Metoda de sinteză prezentată folosește teoria sistemelor liniare. De aceea, modelul dinamic (4.12) se liniarizează în jurul punctului de echilibru ($\Delta\mathbf{x} = 0$). Liniarizarea se poate face cu metode analitice sau numerice [121, 27, 45] și are ca rezultat modelul dinamic liniar

$$\Delta\mathbf{x}' = \tilde{\mathbf{A}}^0(t)\,\Delta\mathbf{x} + \tilde{\mathbf{B}}^0(t)\,\mathbf{N}(t, \Delta\mathbf{u}) \tag{4.14}$$

cu condiția inițială $\Delta\mathbf{x}(0)$ și matricele $\tilde{\mathbf{A}}^0 \in \mathbf{R}^{N\times N}$, $\tilde{\mathbf{B}}^0 \in R^{N\times n}$ variante.

Pentru sinteza unui regulator liniar, care minimizează un criteriu de performanță pătratic

$$J(\Delta\mathbf{u}) = \frac{1}{2}\int_0^{t_s} e^{2\beta t}\,[\Delta\mathbf{x}^T\mathbf{Q}(t)\,\Delta\mathbf{x} + \Delta\mathbf{u}^T\mathbf{R}(t)\,\Delta\mathbf{u}]\,dt +$$

$$+\frac{1}{2}\,\Delta\mathbf{x}^T(t_s)\,\mathbf{Q}_T\Delta\mathbf{x}(t_s), \quad \mathbf{Q}_T \geqslant 0, \quad \mathbf{Q} \geqslant 0. \quad \mathbf{R} \geqslant 0, \tag{4.15}$$

Scanned with OKEN Scanner

se presupune că toate stările $\mathbf{x}$ sînt măsurabile. Dacă nu toate stările sînt direct măsurate atunci se poate folosi un estimator de stare pentru a le construi [121]. Intervalul de timp t_s, parametrii și matricele de ponderе β, $\mathbf{Q}$, $\mathbf{Q}^T$, $\mathbf{R}$ se aleg astfel ca să asigure stabilitatea sistemului.

Considerînd controlabilă, pe intervalul de timp $(0, t_s)$, perechea de matrice $(\mathbf{A}^0, \mathbf{B}^0)$, comanda optimală (cu minimizarea criteriului de performanță (4.15)) se obține pentru

$$\Delta\mathbf{u}(t) = -\mathbf{R}^{-1}(t)\,\widetilde{\mathbf{B}}^{0T}(t)\,\mathbf{K}(t)\,\Delta\mathbf{x}(t) = \mathbf{D}(t)\,\Delta\mathbf{x}(t) \qquad (4.16)$$

unde $\mathbf{K}(t) \in \mathbf{R}^{N\times N}$ $(\mathbf{K}(t) > 0)$ este soluția ecuației diferențiale Riccati [121, 45].

Conform teoriei sistemelor liniare, comanda (4.16) asigură stabilitatea sistemului liniar (4.14), dar trebuie verificată și stabilitatea sistemului inițial (4.12), care este neliniar. Legea de comandă (4.16) este greu de implementat, deoarece este variantă ($\mathbf{D}(t)$ nu este o matrice constantă).

Pentru proiectarea unei comenzi $\Delta\mathbf{u}(t)$ invariante trebuie ca și sistemul (4.14) să fie aproximat cu un sistem liniar invariant

$$\Delta\mathbf{x}' = \widetilde{\widetilde{\mathbf{A}}}^0\,\Delta\mathbf{x} + \widetilde{\widetilde{\mathbf{B}}}^0\mathbf{N}(t, \Delta\mathbf{u}) \qquad (4.17)$$

unde $\widetilde{\widetilde{\mathbf{A}}}^0$, $\widetilde{\widetilde{\mathbf{B}}}^0$ sînt matrice constante care aproximează cît mai bine matricele variante $\widetilde{\mathbf{A}}^0(t)$ și $\widetilde{\mathbf{B}}^0(t)$.

Criteriul de performanță care se minimizează are forma

$$J(\Delta\mathbf{u}) = \int_0^\infty e^{2\beta t}\,[\Delta\mathbf{x}^T\mathbf{Q}\,\Delta\mathbf{x} + \Delta\mathbf{u}^T\,\underline{\mathbf{R}}\,\Delta\mathbf{u}]\,dt \qquad (4.18)$$

iar comanda optimală este invariantă

$$\Delta\mathbf{u}(t) = -\underline{\mathbf{R}}^{-1}\widetilde{\widetilde{\mathbf{B}}}^{0T}\mathbf{K}\,\Delta\mathbf{x}(t) = \mathbf{D}\Delta\mathbf{x}(t) \qquad (4.19)$$

unde matricea $\mathbf{K} \in R^{N\times N}$ este soluția ecuației algebrice matriceale Riccati [121, 45].

În algoritmul de sinteză prezentat nu s-a pus nici o restricție asupra amplitudinii comenzii. Cum rezultă și din relațiile (4.18), în realitate, comanda este limitată de valorile $u_m^i (i = 1, \ldots, n)$.

În lucrarea [121] se arată că stabilitatea exponențială este asigurată pentru o regiune $\mathbf{X}^I \subset R$ a condițiilor inițiale, dacă se îndeplinește condiția

$$\mathbf{Q} + \mathbf{K}\widetilde{\widetilde{\mathbf{B}}}^0\underline{\mathbf{R}}^{-1}(2\lambda - \mathbf{I})\,\widetilde{\widetilde{\mathbf{B}}}^{0T}\mathbf{K} > 0$$

Scanned with OKEN Scanner

unde $\lambda = \text{diag}\,(\lambda_i)$

$$\lambda_i = \frac{u_m^i - \max\,(u^{0i}(t))}{|\,(\mathbf{D}\Delta\mathbf{x}(0))_i\,|}, \quad |\lambda_i| \leqslant 1. \tag{4.20}$$

În final, trebuie verificat că sistemul neliniar (4.12), cu comanda (4.19), este stabil, avînd o funcționare suboptimală.

Stabilitatea se poate verifica cu ajutorul unei funcții Liapunov de forma [121]

$$v = \sqrt{\Delta\mathbf{x}^T\,\mathbf{K}\,\Delta\mathbf{x}},\ v > 0,\ v : R^N \to R. \tag{4.21}$$

Dacă derivata funcției Liapunov este negativ semidefinită:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\,(v) \leqslant 0,$$

atunci sistemul neliniar, cu comanda sintetizată pe modelul liniarizat, este stabil.

4.2.2. METODA DESCENTRALIZATĂ DE SINTEZĂ A COMENZII

Modelul dinamic (4.12) este considerat format din subsistemu mecanic S^i și subsistemele de acționare S^i, $i = 1, \ldots, n$ (S^M și S^i formează un sistem descentralizat).

Descrierea matematică a sistemelor S^M și S^i se poate face în forma [121]

$$S^M: \Delta\mathbf{P} = \mathbf{H}(t, \Delta\mathbf{q})\ \mathbf{q}'' + \mathbf{h}(t, \Delta\mathbf{q}, \Delta\mathbf{q}') \tag{4.22}$$

$$S^i: \Delta\mathbf{x}^{i\prime} = \mathbf{A}^i\,\Delta\mathbf{x}^i + \mathbf{h}^i\mathbf{N}(t, \Delta\mathbf{u}^i) + \mathbf{f}^i\,\Delta\mathbf{P}_i \tag{4.23}$$

unde condițiile inițiale sînt $\Delta\mathbf{q}(0)$, $\Delta\mathbf{q}'(0)$, $\Delta\mathbf{x}^i(0)$, iar

$$\Delta\mathbf{P}(t) = \mathbf{P}(t) - \mathbf{P}^0(t),\ \Delta\mathbf{q}(t) = \mathbf{q}(t) - \mathbf{q}^0(t),$$

$$\Delta\mathbf{q}'(t) = \mathbf{q}'(t) - \mathbf{q}^{0\prime}(t),\ \Delta\mathbf{x}^i(t) = \mathbf{x}^i(t) - \mathbf{x}^{i0}(t),$$

$$\Delta\mathbf{u}^i(t) = u^i(t) - u^{i0}(t)$$

sînt abaterile față de valorile nominale ale forțelor de acționare, pozițiilor, vitezelor generalizate, stărilor și comenzilor aplicate sistemelor de acționare.

Modelul dinamic în abateri poate fi privit ca o mulțime de subsisteme interconectate prin forțele de acționare $\Delta\mathbf{P}_i$ ale structurii

Scanned with OKEN Scanner

mecanice (subsistemul $\mathbf{S}^M$). Subsistemul S^i corespunde gradului de libertate i a structurii mecanice comandate.

Elementele diagonale ale matricelor $\mathbf{H}$ și $\mathbf{h}$ din sistemul (4.22) pot fi puse sub forma

$$H^0_{ii}(t, \Delta\mathbf{q}) = \bar{H}_{ii} + (H^0_{ii}(t, \Delta\mathbf{q}) - \bar{H}_{ii}) \tag{4.24}$$

$$h^0_{ii}(t, \Delta\mathbf{q}, \Delta\mathbf{q}') = \bar{h}_i\, \Delta q^i + (h^0_i(t, \Delta\mathbf{q}, \Delta\mathbf{q}') - \bar{h}_i\, \Delta q^i). \tag{4.25}$$

Subsistemele S^i se transformă cu ajutorul relațiilor (4.24), (4.25) în

$$S^i : \Delta\mathbf{x}^i = \bar{\mathbf{A}}^i\, \Delta\mathbf{x}^i + \mathbf{b}^i\mathbf{N}(t, \Delta u^i) + \bar{\mathbf{f}}^i\, \Delta\mathbf{P}^* \tag{4.26}$$

unde condiția inițială este $\Delta\mathbf{x}^i(0)$, iar

$$\begin{gathered}
\bar{\mathbf{A}}^i = \bar{\mathbf{C}}^i(\mathbf{A}^i + \mathbf{f}^i\bar{\mathbf{h}}^i\mathbf{T}^i_1); \quad \bar{\mathbf{b}}^i = \bar{\mathbf{C}}^i\mathbf{b}^i; \quad \bar{\mathbf{f}}^i = \bar{\mathbf{C}}^i\mathbf{f}^i; \\
\bar{\mathbf{C}}^i = (\mathbf{I}_{n_i} - \mathbf{f}^i\bar{\mathbf{H}}_{ii}\mathbf{T}^i)^{-1}; \\
\Delta\mathbf{P}^*_i = \Delta\mathbf{P}_i - \bar{\mathbf{H}}_{ii}\mathbf{T}^i\, \Delta\mathbf{x}^{i'} - \bar{\mathbf{h}}_i\mathbf{T}^i_1\, \Delta\mathbf{x}^i; \\
\mathbf{T}^i\, \Delta\mathbf{x}^{i'} = \Delta q^{i''} \quad \mathbf{T}^i_1\, \Delta\mathbf{x}^i = \Delta q^i.
\end{gathered} \tag{4.27}$$

Prin transformările efectuate de relațiile (4.24) —(4.27) din elementele de cuplaj $\Delta\mathbf{P}_i$ (care depindeau de stările proprii $\Delta\mathbf{x}^i$, cît și de stările celorlalte subsisteme $\Delta\mathbf{x}^j$, $j \neq i$) s-a eliminat dinamica proprie $(\Delta\mathbf{x}^i, \Delta\mathbf{x}^{i'})$.

În acest fel, în elementele de cuplaj $\Delta\mathbf{P}^*_i$ se exprimă influența celorlalte subsisteme S^j $(j \neq i)$ asupra subsistemului S^i. Comanda $\Delta u^i(t)$ cuprinde două componente, una locală $\Delta u^L_i = \Phi_i(\Delta\mathbf{x}^i)$, depinzînd numai de variabilele de stare locale proprii și una globală $\Delta u^G_i = \Phi_i(\Delta\mathbf{x}^i, \Delta\mathbf{P}^*_i(t, \mathbf{x}))$, depinzînd de toate variabilele de stare ale sistemului dinamic

$$\Delta u^i(t) = \Delta u^L_i(t) + \Delta u^G_i(t). \tag{4.28}$$

Componenta $\Delta u^L_i(t)$ se calculează pentru subsistemul S^i liber (în absența cuplajului între gradele de libertate)

$$S^i : \Delta\mathbf{x}^{i'} = \bar{\mathbf{A}}^i\, \Delta\mathbf{x}^i + \bar{\mathbf{b}}^i\mathbf{N}(t, \Delta u^L_i) \tag{4.29}$$

avînd condiția inițială $\Delta\mathbf{x}^i(0)$ definită la $t = 0$.

Considerînd toate stările sistemului măsurabile

$$\Delta\mathbf{y}^i = \mathbf{C}^i\, \Delta\mathbf{x}^i, \quad \mathbf{C}^i \in R^{n_i \times n_i}$$

Scanned with OKEN Scanner

se poate calcula comanda locală folosind tehnici de alocare a polilor

$$\Delta u_i^L = -\mathbf{k}_i^T \Delta \mathbf{y}^i = -\mathbf{k}_i^T \mathbf{C}^i \Delta \mathbf{x}^i. \tag{4.30}$$

Vectorii $\mathbf{k}_i$ se calculează astfel ca sistemul S^i liber să fie stabil.

Comanda globală $\Delta u_i^G(t)$ se determină astfel încît să se minimizeze efectul destabilizator introdus de elementele de cuplaj $\Delta \mathbf{P}_i^*$. Calculul comenzii globale $\Delta u_i^G(t)$ din relația (4.28) este prezentat în detaliu în lucrarea [121].

4.3. SINTEZA SISTEMELOR DE COMANDĂ CU TIMP DISCRET

Pentru implementarea pe calculator a legilor de comandă prezentate în § 4.2, ele trebuie reproiectate ținînd seama că timpul este eșantionat cu perioada T_D (lege de comandă discretă). Asigurarea unei perioade mici de eșantionare (impuse de caracteristicile dinamice ale structurii mecanice de manipulare) se realizează prin folosirea structurilor de calcul rapide (virgulă mobilă hardware, structuri de calcul paralele, structuri multiprocesor etc.). Datele de intrare pentru calcularea legii de comandă discretă sînt eșantioane (citite periodic cu T_s) ale stării sistemului mecanic (poziție și viteză).

Valorile calculate ale mărimilor de comandă se păstrează constante pe perioada T_D

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}(kT_D),\ kT_D \leqslant t < (k+1)\ T_D;\quad k = 0,1,2,\ldots$$

Conform teoriei sistemelor automate cu eșantionare, sinteza legii de comandă se face pentru modelul dinamic discret

$$S : \mathbf{x}(k+1) = \mathbf{G}_D(\mathbf{x}(k)) + \mathbf{B}_D(\mathbf{x}(k))\,\mathbf{N}(\mathbf{u}(k)),\quad k = 0, 1, 2, \ldots \tag{4.31}$$

unde $\mathbf{x}(k) = \mathbf{x}(kT_D) \in R^N$ este vectorul de stare la momentele de timp $t_K = kT_D$; $\mathbf{u}(k) = \mathbf{u}(kT_D)$ vectorul de comandă pe intervalul $kT_D \leqslant t \leqslant (k+1)\ T_D$; $\mathbf{G}_D : R^N \to R^N$, $\mathbf{B}_D : R^N \to R^{N\times n}$, $\mathbf{N}(\mathbf{u}(k)) = [N(u^1(k)), N(u^2(k)), \ldots, N(u^n(k))]^T$ sînt matricele modelului dinamic discretizat; n este numărul gradelor de libertate, iar N dimensiunea întregului sistem dinamic.

Se consideră (ca și în § 4.2) că traiectoria și comanda nominală au fost calculate și memorate într-o fază „off-line", iar sinteza legii de comandă discretă pentru urmărirea traiectoriei nominale se face pe modelul dinamic liniarizat al abaterilor față de traiectoria nominală.

Scanned with OKEN Scanner

Se notează cu

$$\mathbf{x}^0(0), \quad \mathbf{x}^0(1), \ldots, \mathbf{x}^0(L), \quad \tau = LT_D$$

traiectoria nominală și cu

$$\mathbf{u}^0(0), \quad \mathbf{u}^0(1), \ldots, \mathbf{u}^0(L)$$

comanda programată.

Modelul discretizat al abaterilor față de traiectoria nominală, pe intervalul de timp $t \in [kT_D, (k+1)T_D]$ este dat de relațiile

$$S : \Delta\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{\Phi}^0(\mathbf{k})\Delta\mathbf{x}(k) + \mathbf{D}^0(k)\,\mathbf{N}(k, \Delta\mathbf{u}(k)); \qquad (4.32)$$

unde $\Delta\mathbf{x}(k) = \mathbf{x}(k) - \mathbf{x}^0(k) \in R^N$; $\Delta\mathbf{x}(0)$ este condiția inițială; $\Delta\mathbf{u}(k) = \mathbf{u}(k) - \mathbf{u}^0(k)$ vectorul de comandă pe intervalul de timp $kT_D \leqslant t < (k+1)T_D$; $\mathbf{N}(k, \Delta\mathbf{u}(k))$ neliniaritate de tip saturație; $\mathbf{\Phi}^0(k) \in R^{N\times N}$ și $\mathbf{D}^0(k) \in R^{N\times n}$ sînt matricele modelului dinamic discretizat, care se obțin cu

$$\mathbf{\Phi}^0(k) = \int_{kT_D}^{(k+1)T_D} \tilde{\mathbf{A}}^0(\tau)\,d\tau = \mathbf{\Phi}^0((k+1)T_D, kT_D) \qquad (4.33)$$

$$\mathbf{D}^0(k) = \int_{kT_D}^{(k+1)T_D} \mathbf{\Phi}^0((k+1)T_D, \tau)\,\mathbf{B}^0(\tau)\,d\tau.$$

Pentru a obține o lege de comandă invariantă (vezi § 4.2) se trece de la sistemul dinamic variant (4.32) la un sistem invariant, care îl aproximează

$$\Delta\mathbf{x}(k+1) = \bar{\Phi}^0\mathbf{x}(k) + \bar{\mathbf{D}}^0\mathbf{N}(k, \Delta\mathbf{u}(k)) \qquad (4.34)$$

unde $\Delta\mathbf{x}(0)$ este condiția inițială, $\bar{\mathbf{\Phi}}^0$, $\bar{\mathbf{D}}^0$ sînt matricele invariante ale modelului dinamic, care depind numai de perioada de eșantionare T_D

$$\bar{\mathbf{\Phi}}^0 = \bar{\mathbf{\Phi}}^0(T_D) = \exp\,(\tilde{\tilde{\mathbf{A}}}^0 T_D)$$
$$\bar{\mathbf{D}}^0 = \bar{\mathbf{D}}^0(T_D) = \int_0^{T_D} \exp(\tilde{\tilde{\mathbf{A}}}^0 t)\tilde{\tilde{\mathbf{B}}}^0 dt. \qquad (4.35)$$

În etapa de sinteză a structurii de comandă trebuie determinată succesiunea de comenzi $\mathbf{u}(k) = \mathbf{u}(kT_D)$, $k = 1, \ldots, L$, care să asigure

Scanned with OKEN Scanner

stabilitatea sistemului (pentru fiecare condiție inițială $\mathbf{x}(0) \in \mathbf{X}^I$, trebuie să fie îndeplinite condițiile: $\mathbf{x}(t) \in \mathbf{X}^t$, $\forall t \in T$ și $\mathbf{x}(t) \in \mathbf{X}^F$, $\forall t \in T_s$).

Criteriul de performanță, care se minimizează pentru sinteza comenzii discrete, devine

$$J(\Delta\mathbf{x}(0), \Delta\mathbf{u}(k), \tau) = 1/2 \sum_{k=0}^{L-1} [\Delta\mathbf{x}^T(k)\,\hat{\mathbf{Q}}\,\Delta\mathbf{x}(k) + \Delta\mathbf{x}^T(k)\mathbf{M}\Delta\mathbf{u}(k) + \\ + \Delta\mathbf{u}^T(k)\,\hat{\mathbf{R}}\,\Delta\mathbf{u}(k)] + 1/2\,\Delta\mathbf{x}^T(L)\,\mathbf{Q}_T\,\Delta\mathbf{x}(L) \tag{4.36}$$

unde matricele $\hat{\mathbf{Q}}$, $\mathbf{M}$ și $\hat{\mathbf{R}}$ de ponderi au forma

$$\hat{\mathbf{Q}} = \int_0^{T_D} e^{\tilde{\tilde{\mathbf{A}}}^{0T}t}\,\mathbf{Q}\,e^{\tilde{\tilde{\mathbf{A}}}^{0}t}\,dt = \hat{\mathbf{Q}}(T_D)$$

$$\mathbf{M} = \int_0^{T_D} e^{\tilde{\tilde{\mathbf{A}}}^{0T}t}\,\mathbf{Q}\underline{\mathbf{H}}(t)\,dt = \mathbf{M}(T_D) \tag{4.37}$$

$$\hat{\mathbf{R}} = T_D\underline{\mathbf{R}} + \int_0^{T_D} \underline{\mathbf{H}}^T(t)\,\mathbf{Q}\underline{\mathbf{H}}(t)\,dt = \hat{\mathbf{R}}(T_D)$$

$$\underline{\mathbf{H}}(t) = \int_0^t \exp\,(\tilde{\tilde{\mathbf{A}}}^0 t)\,\tilde{\tilde{\mathbf{B}}}^0\,dt.$$

Folosind un algoritm de optimizare [121, 45] se calculează legea de comandă discretă, care minimizează criteriul de performanță (4.36)

$$\Delta\mathbf{u}(k) = -\,\mathbf{D}(k)\,\Delta\mathbf{x}(k)$$
$$\mathbf{D}(k) = (\hat{\mathbf{R}} + \overline{\mathbf{D}}^{0T}\mathbf{K}(k)\overline{\mathbf{D}}^0)\;(\overline{\mathbf{D}}^{0T}\mathbf{K}(k)\,\overline{\mathbf{\Phi}}^0 + \mathbf{M}^T) \tag{4.38}$$

unde $\mathbf{K} \in R^{N\times N}$ este soluția ecuației Riccati

$$\mathbf{K}(k) = \hat{\mathbf{Q}} + \mathbf{\Phi}^{0T}\mathbf{K}(k+1)\,\overline{\mathbf{\Phi}}^0 + (\underline{\mathbf{D}}^{0T}\mathbf{K}(k+1)\,\overline{\mathbf{\Phi}}^0 + \mathbf{M}^T)^T \cdot (\hat{\mathbf{R}} + \\ + \overline{\mathbf{D}}^{0T}\mathbf{K}(k+1)\,\overline{\mathbf{D}}^0)^{-1}\,(\overline{\mathbf{D}}^{0T}\mathbf{K}(k+1)\,\overline{\mathbf{\Phi}}^0 + \mathbf{M}) \tag{4.39}$$

Presupunînd că $\tau \gg T_D$, ecuația (4.39) se poate înlocui cu ecuația algebrică Riccati [121]. Legea de comandă discretă (folosind metoda de sinteză centralizată) se calculează cu relațiile

$$\Delta\mathbf{u}(t) = -\,\overline{\mathbf{D}}\,\Delta\mathbf{x}(k); \quad t \in [kT_D, (k+1)T_D]$$
$$\overline{\mathbf{D}} = (\hat{\mathbf{R}} + \overline{\mathbf{D}}^{0T}\mathbf{K}\overline{\mathbf{D}}^0)\,(\overline{\mathbf{D}}^{0T}\mathbf{K}^0 + \mathbf{M}^T); \quad k = 0, 1, \ldots, L-1. \tag{4.40}$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a folosi metoda descentralizată de sinteză a legii de comandă, se descompune sistemul dinamic S în subsisteme corespunzătoare gradelor de libertate (S^M — subsistemul mecanic; S^I — subsistemele de acționare ale gradelor i de libertate)

$$S^i: \mathbf{x}^i(k+1) = \mathbf{A}_D^i \mathbf{x}^i(k) + \mathbf{b}_D^i \mathbf{N}(u^i(k)) + \mathbf{f}_s^i P_i(k), \ \forall i \in I, \ k = 0, 1, 2 \ldots$$

$$y^i(k) = \mathbf{C}^i \mathbf{x}^i(k); \quad P_i(t) \cong P_i(kT_D), \ kT_D \leqslant t \leqslant (k+1)\, T_D; \tag{4.41}$$

$$S^M: \mathbf{P}(k) = \mathbf{F}_D(\mathbf{x}(k)); \quad k = 0, 1, 2, \ldots \ \mathbf{A}_D^i = \exp(\mathbf{A}^i T_D) \in R^{n_i \times n_i};$$

$$\mathbf{b}_D^i = \int_0^{T_D} b^i \mathrm{e}^{\mathbf{A}^i \tau}\, d\tau \in R^{n_i}; \quad \mathbf{f}_D^i = \int_0^{T_D} f^i \mathrm{e}^{\mathbf{A}^i \tau}\, \mathrm{d}\tau \in R^{n_i}; \quad \mathbf{F}_D : R^N \to R^n$$

unde N este dimensiunea întregului sistem, n numărul gradelor de libertate, n_i dimensiunea sistemului S^i.

Ca și în precedentele metode de sinteză prezentate, se presupune calcularea „off-line" a comenzii programate și a traiectoriei nominale

$$S: \mathbf{x}^0(k+1) = \mathbf{G}_D(\mathbf{x}^0(k)) + \mathbf{B}_D(\mathbf{x}^0(k))\, \mathbf{u}^0(k), \ \forall k \in L_t \tag{4.42}$$

Comanda programată $\mathbf{u}^0(k), \ \forall k \in L_t$ transferă starea $\mathbf{x}^0(k)$ în starea $\mathbf{x}^0(k+1)$.

Modelul dinamic în abateri față de traiectoria nominală devine

$$S^i: \Delta\mathbf{x}^i(k+1) = \mathbf{A}_D^i \Delta\mathbf{x}^i(k) + \mathbf{b}_D^i \mathbf{N}(k, \Delta u^i(k)) + \mathbf{f}_D^i \Delta P_i(k) \tag{4.43}$$

unde $\Delta\mathbf{x}^i(k) = \mathbf{x}^i(k) - \mathbf{x}^{i0}(k)$; $\Delta u^i(k) = u^i(k) - u^{i0}(k)$, $\Delta P_i(k) = P_i(k) - P_i^0(k), \ \forall i \in I.$

$$S^M: \Delta\mathbf{P}(k) = \overline{\mathbf{F}}_D(k, \Delta\mathbf{x}(k)) \tag{4.44}$$

unde $\overline{\mathbf{F}}_D: L_t \times R^N \to R^n$.

Criteriul de performanță pătratic, care se minimizează, este

$$I(\Delta\mathbf{x}(0), \ \Delta\mathbf{u}(k)) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{L} [\Delta\mathbf{x}^T(k)\, \underline{\mathbf{Q}} \Delta\mathbf{x}(k) + \Delta\mathbf{u}^T(k) \underline{\mathbf{R}} \Delta\mathbf{u}(k)] \tag{4.45}$$

unde $\underline{\mathbf{Q}} = \mathrm{diag}\ (\mathbf{Q}_i) \in R^{N \times N}$, $\mathbf{Q}_i \in R^{n_i \times n_i}$ sînt matrice semipozitiv definite, iar $\underline{\mathbf{R}} = \mathrm{diag}\ (r_i) \in R^{n \times n}$, $r_i \geqslant 0$.

Scanned with OKEN Scanner

Se consideră subsistemele decuplate $\Delta P_i(k) = 0$ și se calculează o lege de comandă locală $\Delta u_L^i(k)$ pentru

$$S^i : \Delta \mathbf{x}^i(k+1) = \mathbf{A}_D^i \Delta \mathbf{x}_i(k) + \mathbf{b}_d^i \mathbf{N}(k, \Delta u^i(k))$$

$$J_i(\Delta \mathbf{x}^i(0), \ \Delta u^i(k)) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{L} [\Delta \mathbf{x}^{iT}(k) \mathbf{Q}_i \Delta \mathbf{x}^i(k) + \Delta u^i(k) r_i \Delta u^i(k)]. \tag{4.46}$$

Legea de comandă discretă locală se calculează cu relațiile

$$\Delta u_i^L(k) = -r_i^{-1} \mathbf{b}_D^{iT} (\mathbf{A}_D^{iT})^{-1} (\mathbf{K}_i(k) - \mathbf{Q}_i) \Delta \mathbf{x}^i(k), \ \forall i \in I, \ \forall k \in L_t \tag{4.47}$$

unde $\mathbf{K}_i \in R^{n_i \times n_i}$ este soluția ecuației diferențiale Riccati.

Conform algoritmilor de sinteză prezentați în [79, 82] se calculează și o lege de comandă globală, care asigură stabilitatea întregului sistem

$$\Delta u_i^G(k) = K_i^G(\Delta \mathbf{x}^i(k)) \Delta \bar{P}_i^*(k)$$

unde K_i^G este funcție de stările subsistemelor, iar $\Delta P_i^*(k)$ depinde de cuplurile de cuplaj ΔP_i între gradele de libertate.

Legile de comandă sintetizate în §4.3 se pot implementa direct pe structuri de calcul (mini- și microcalculatoare, multiprocesoare etc.).

4.4. PROGRAMAREA MIȘCĂRII MECANISMELOR SPAȚIALE ACTIVE

Mecanismele spațiale active se folosesc la construcția manipulatoarelor, telemanipulatoarelor și roboților industriali.

În cazul manipulatoarelor și a telemanipulatoarelor mișcarea este comandată de operatorul uman, neapărînd necesitatea unei programări a mișcării.

La roboții industriali, care lucrează în regim automat, fără intervenția operatorului uman, apare necesară programarea mișcării.

Programarea roboților poate fi simplă (limitatoare de cursă, came etc.) sau foarte complexă, descriind obiectivul global al robotului (asamblarea unui motor electric — obiectiv pentru care se generează automat un plan de acțiuni elementare, care cuprind și programul de mișcare).

Scanned with OKEN Scanner

Metodele de programare se împart în metode *netextuale* (în urma programării nu rezultă un text program) și *textuale* (în urma programării rezultă un text de program, asemănător cu programele pentru calculatoarele universale).

4.4.1. METODE DE PROGRAMARE NETEXTUALĂ

În cadrul metodelor de programare netextuală, programarea se poate face prin poziționarea unor limitatoare de cursă (programare rigidă, greu de modificat) și prin instruire (teaching). Programarea prin instruire permite ușoara modificare a programului robot, funcție de necesitățile aplicației industriale.

Instruirea se poate face prin înregistrarea pe bandă magnetică a întregii mișcări (pozițiile tuturor axelor, eșantionate cu o perioadă T stabilită) efectuate de structura mecanică, comandată manual de către operatorul uman.

Această metodă are avantajul programării mișcărilor foarte complexe efectuate de operatorul uman cu structura mecanică, dar prezintă dezavantajul unui volum mare de memorie pentru înregistrare.

Structura mecanică este echipată cu senzori de efort, care — măsurînd forțele și cuplurile care apar între mîna operatorului și obiectul condus al mecanismului (mîna sau organul de execuție a robotului) — generează mărimi de referință pentru sistemul de comandă a mișcării. În acest fel, operatorul, ținînd în mînă corpul condus al mecanismului activ, efectuează traiectoria dorită.

Structura mecanică realizează configurații admisibile, astfel ca organul ei de execuție (corpul condus) să urmărească traiectoria impusă de mîna operatorului uman. Mulțimea tuturor configurațiilor este dată de variația în timp a vectorului coordonatelor generalizate $\mathbf{q}(t)$ a structurii de manipulare.

Înregistrarea pe suport magnetic a valorilor $\mathbf{q}(KT)$ $(k = 0, 1, \ldots, k_f)$ ale vectorului $\mathbf{q}(t)$ reprezintă programul robot (T este perioada de eșantionare). În regim automat, valorile $\mathbf{q}(KT)$, ale citite de pe suportul magnetic, reprezintă mărimile de referință pentru sistemul de comandă a mișcării.

Realizarea cerințelor impuse de către sistemul de comandă și acționare va face ca structura mecanică să repete mișcarea programată.

A doua metodă de instruire presupune înregistrarea pe suport magnetic numai a unor puncte esențiale ale traiectoriei de mișcare. Aceste puncte pot fi definite în coordonate robot sau coordonate operaționale (carteziene, cilindrice etc.).

Scanned with OKEN Scanner

Mișcarea între punctele memorate se definește ca tip de traiectorie (linie dreaptă, cerc etc.), ca timp de execuție, ca viteză între puncte, ca viteză și accelerație în punctele inițiale și finale etc.

În regim automat se generează funcțiile de interpolare între punctele memorate, astfel încît să fie îndepliniți toți parametrii atașați mișcării.

Operatorul nu mai mișcă robotul pe toată traiectoria dorită, ci îl deplasează numai în anumite puncte esențiale ale traiectoriei.

Comanda structurii mecanice este executată de operator, de la o consolă specializată, independent pe fiecare grad de libertate sau coordonat (mai multe grade de libertate) în coordonate operaționale (sus-jos, dreapta-stînga, înainte-înapoi). Pe lîngă informația de mișcare (instrucțiuni robot de mișcare) se mai pot introduce în programul robot și alte instrucțiuni, cum ar fi: citire-scriere, valori numerice în proces; deschidere-închidere organ de execuție; întîrziere; salt necondiționat sau condiționat în program; realizarea unei bucle în program etc. Se pot pune în evidență trei tipuri de instrucțiuni mai des folosite în programele robot, de mișcare, de sincronizare, de control a programului robot.

Instrucțiuni de mișcare. Dacă mișcarea se execută în coordonate robot, poziția și orientarea corpului condus este controlată numai în punctele esențiale ale traiectoriei, memorate în programul robot (instrucțiuni PTP — point to point).

Instrucțiunile PTP pot fi de tip FINE (poziționare fină), — robotul atinge cu precizie punctele respective, sau de tip COARSE (poziționare grosieră), robotul atingînd o vecinătate a punctului memorat.

Dacă mișcarea se efectuează în coordonate operaționale, atunci se realizează mișcări ale obiectului condus pe traiectorii impuse (linie, cerc).

Ca parametri ai instrucțiunilor de mișcare se mai definesc: viteza de-a lungul traiectoriei sau în punctele finale și timpul de execuție a mișcării.

Instrucțiuni de sincronizare. Aceste instrucțiuni sînt folosite pentru sincronizarea acțiunilor robotului cu alți roboți sau utilaje din celula de automatizare flexibilă. Dintre aceste instrucțiuni se pot enumera cele de întîrziere (WAIT), de comandă binară (OUTPUT ON/OFF), de citire intrări binare (INPUT ON/OFF), de comandă a organului de execuție (GRIPPER ON/OFF) etc.

Instrucțiuni de control a programului robot. Aceste instrucțiuni corespund cu instrucțiunile de control a limbajelor universale.

Se pot enumera salturile necondiționate (JUMP), salturile condiționate (JUMP IF INPUT ON/OFF), buclele în program (LOOP, END LOOP) etc.

Scanned with OKEN Scanner

În general, programarea prin instruire se realizează de la o consolă specializată cu taste funcționale. Majoritatea sistemelor de programare existente pentru roboții industriali sînt sisteme de instruire.

4.4.2. METODE DE PROGRAMARE TEXTUALĂ

Programarea textuală a roboților este caracterizată de existența unui limbaj de programare. Aceste limbaje se caracterizează prin grupe de instrucțiuni și structuri de date comune cu limbajele universale (instrucțiuni de control a programului: IF THEN ELSE, CASE, LOOP, FOR, CALL, RETURN etc., variabile, reale și întregi, variabile indexate etc.), precum și de grupe de instrucțiuni și structuri de date specifice roboților (MOVE, IF SENSOR THEN ELSE etc; punct în spațiul de lucru exprimat în coordonate robot (n—întregi) sau coordonate operaționale (6—reali)).

Dintre avantajele programării textuale se pot enumera: flexibilitatea în programarea aplicațiilor complexe (asamblări mecanice, lucru în cooperare a doi roboți etc.); prelucrarea ușoară a informației senzoriale; ușurința testării programelor; buna documentare a programelor etc. Dintre dezavantajele ei se menționează necesitatea unor structuri de calcul complexe (dimensiuni mari de memorie internă și externă) și necesitatea unei calificări superioare a operatorilor tehnologici care se ocupă cu programarea roboților.

Unele din limbajele specifice roboților s-au dezvoltat din limbajele de programare universale (FORTRAN, ALGOL, PASCAL), prin adăugarea de instrucțiuni și structuri de date specifice, altele au fost dezvoltate în mod special pentru roboți. În tabelul 4.1 sînt prezentate cîteva caracteristici ale limbajelor de programare a roboților utilizate în aplicațiile de laborator sau industriale.

Dintre limbajele prezentate în tabel unele sînt explicite (VAL, MAL etc.), descriind fiecare acțiune pe care robotul trebuie să o execute, altele neexplicite (AUTOPASS, AL, LAMA), la care se programează obiectivele de executat.

Aceste ultime limbaje au facilități de planificare automată și modelare a mediului înconjurător funcție de informația senzorială.

4.5. ECHIPAREA CU SENZORI A MECANISMELOR SPAȚIALE ACTIVE

În aplicațiile industriale sau neindustriale care cer manipularea de obiecte în medii necunoscute, sau parțial cunoscute, sistemele de comandă prezentate în acest capitol nu pot fi folosite.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.1

Instrucțiunile și caracteristicile limbajelor de programare ale roboților industriali

Felul instrucțiunii	AL	AUTOPASS	ALFA	MAL	ML	RAPT	ROCOL	SIGLA	TL	VAL	SRI(FORTRAN)	CINCINATI	T.U. Berlin	Univ. Budapesta
Instrucțiuni de mișcare	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
— numai cu indicarea poziției	×	×		×	×	×		×	×	×	×	×	×	×
— cu indicarea funcționării		×				×								
— cu indicarea senzorilor	×	×		×	×				×					
— cu indicarea timpilor de execuție a mișcării	×		×							×				
	×									×	×			×
Instrucțiuni pentru organele de execuție	×	×	×	×	×		×		×	×				
— apucare	×	×	×	×	×				×	×				
— executarea de operații	×	×	×											
Instrucțiuni de prelucrare a informației senzoriale	×	×	×	×	×				×	×	×			
Instructiunea „tracking" pentru depanare			×											
Descrierea geometrică a piesei		×				×								
Descrierea poziției	×	×				×								
Date speciale	×	×				×			×					
Operații aritmetice	×	×	×	×	×		×				×	×		
— operații de bază: +, −, ×, /	×	×		×	×					×	×			
— relații elementare	×	×		×	×					×	×			
— funcții	×	×		×							×			

Sistemele de comandă descrise foloseau ca referință o traiectorie programată apriori și informații despre poziția și viteza elementelor componente ale mecanismului activ. O traiectorie de mișcare nu poate

Scanned with OKEN Scanner

fi descrisă apriori față de execuția ei, pentru un mediu necunoscut (poate produce coliziuni cu obstacole, nu-și atinge ținta etc.).

Folosirea în timp real a informației senzoriale permite execuția mișcării în medii necunoscute. Din această cauză apare necesară echiparea cu senzori a structurilor mecanice. Informația senzorială se referă la proprietățile fizico-chimice ale mediului de lucru precum și la interacțiunea structurii mecanice cu mediul înconjurător.

Senzorii folosiți la echiparea structurilor mecanice se pot clasifica funcție de mai multe criterii: tipul informației furnizate (fizică, chimică, geometrică), zona din care recepționează informația (de contact, de zonă apropiată, îndepărtată sau foarte îndepărtată), soluția constructivă (activi, pasivi) etc. Mai des utilizați sînt senzorii de forță, densitate, elasticitate, termici, de culoare, de transparență optică etc.

Informația senzorială este folosită în sistemul de comandă pentru localizarea obiectelor, recunoașterea lor, construirea sau actualizarea modelului mediului de lucru etc. În general, informația de poziție, viteză, accelerație a corpurilor componente ale structurii mecanice nu este considerată ca informație senzorială. Ea este strîns legată de structurile de comandă ale poziției și vitezei fiecărui grad de libertate.

Informația despre mediul de lucru și obiectele din mediu este considerată ca informație senzorială. În continuare se vor prezenta elementele constructive și funcționale ale senzorilor de forță, tactili, de proximitate, de zonă apropiată, îndepărtată și foarte îndepărtată.

4.5.1. SENZORI DE FORȚĂ

Senzorii de forță măsoară forțele și momentele care apar în structura mecanică, precum și cele care acționează asupra obiectelor manipulate. Senzorii de forță pot fi plasați în organul de execuție sau articulațiile motoare ale mecanismului spațial activ. Forțele se pot măsura indirect, prin determinarea deformațiilor unor elemente elastice (mărci tensometrice, piezocristale) sau prin măsurarea unor parametri ai sistemului de acționare (curenții rotorici în cazul acționării electrice etc).

Proprietățile de liniaritate, stabilitate a caracteristicii, lipsa de histerezis, trebuie îndeplinite la senzorii folosiți în echiparea structurilor mecanice de manipulare.

În aplicațiile de manipulare este utilă măsurarea torsorului forțelor și momentelor care apar între mîna robotului și obiectul manipulat.

$$\mathbf{F} = (F_x F_y F_z M_x M_y M_z)^T = (\mathbf{F}, \mathbf{M})^T$$

Scanned with OKEN Scanner

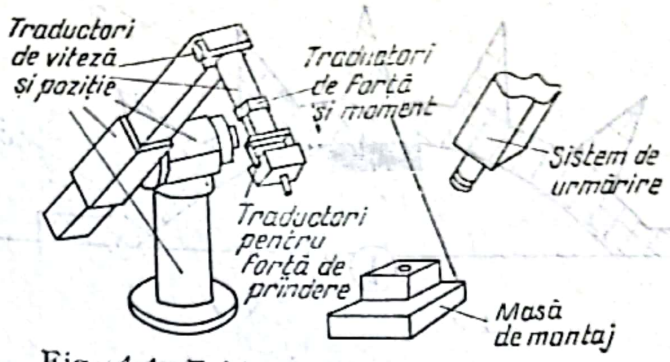


Fig. 4.1. Echiparea robotului cu senzori.

unde F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z sînt proiecțiile forței **F** și ale momentului **M** într-un reper de coordonate (un reper fix, atașat bazei structurii sau unul mobil atașat organului de execuție).

Din informația senzorială furnizată de cei n senzori de efort $\mathbf{E} = (E_1 \dots E_n)^T$, cu ajutorul unei matrice de calibrare **C**, se calculează torsorul **F**:

$$\mathbf{F} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{E}; \quad \mathbf{C} \in R^{6 \times n}$$

Un exemplu de echipare a unui robot cu senzori este prezentată în figura 4.1.

4.5.2. SENZORI TACTILI

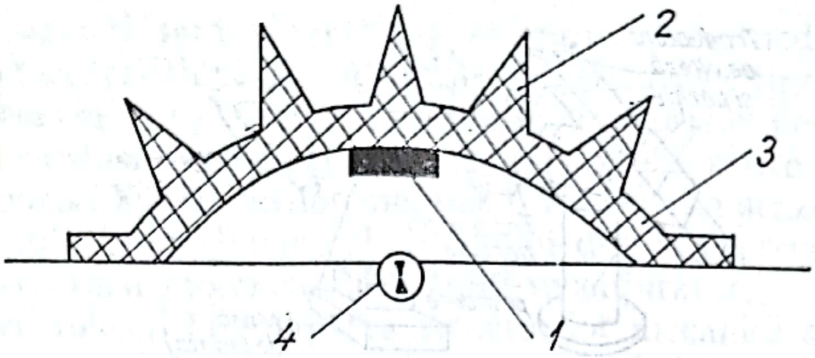
Senzorii tactili (de contact) semnalizează atingerea unui obiect din mediu sau într-o formă complexă de organizare pot chiar recunoaște obiecte, calculînd poziția și orientarea lor în spațiu. De asemenea, se poate stabili rugozitatea suprafeței pe care se face contactul sau valoarea apăsării exercitate asupra obiectului manipulat.

Din punct de vedere constructiv, senzorii tactili pot fi mecanici, electrici, magnetici etc.

Un exemplu de senzor tactil simplu este prezentat în figura 4.2, *a*. Membrana elastică *3* se deformează la atingerea (cu elementele sale *2*) obiectului din mediu. Magnetul permanent *1* (atașat de membrana elastică) își modifică poziția închizînd contactul *4*. O echipare posibilă a robotului cu senzori tactili este prezentată în fig. 4.2, *b*.

Dezavantajul principal al senzorilor tactili este limitarea vitezei de mișcare a structurilor mecanice (viteze mari de deplasare ar duce la distrugerea senzorilor în momentul contactului).

Scanned with OKEN Scanner



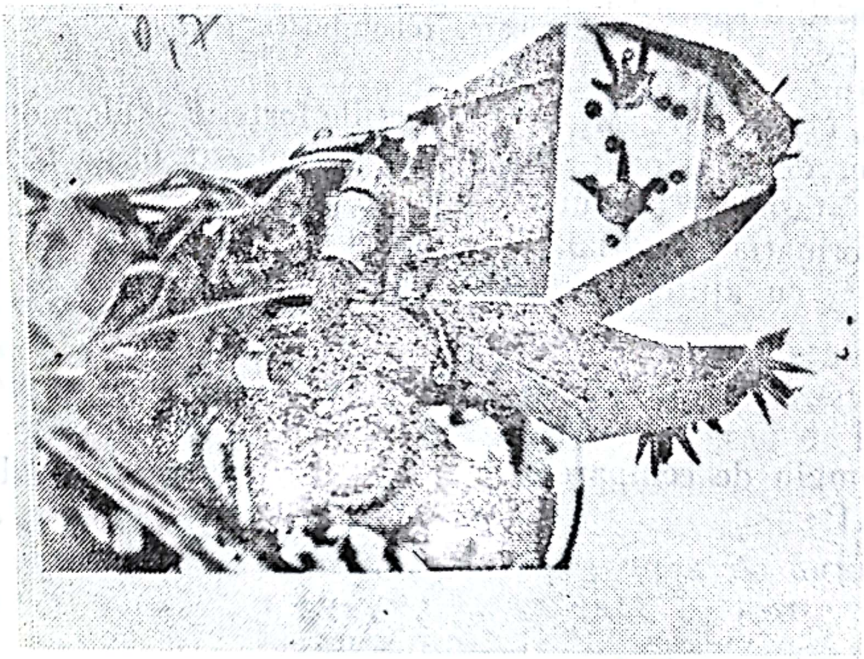


Fig. 4.2.a) Schema unui senzor tactil:
1 — magnet permanent; *2* — proeminenţe; *3* — membrană
4 — contact ermetizat.

b) Echiparea robotului cu senzori tactili.

4.5.3. SENZORI DE PROXIMITATE

Senzorii de proximitate (de zonă apropiată) semnalează prezenţa obiectului din mediu, fără stabilirea contactului.

Constructiv, senzorii de proximitate pot fi optici, cu ultrasunete, electromagnetici etc.

În figura 4.3 este prezentată schema de principiu a unui senzor optic de proximitate.

Razele de lumină (generate de lampa cu incandescenţa *L* şi trecute prin diafragma *DF*) se reflectă la întîlnirea obstacolului din mediul de lucru şi sînt captate de fotodioda *FR*. Amplitudinea semnalului electric amplificat (blocul de amplificare *A*) este proporţională cu distanţa dintre senzor şi obiect.

Scanned with OKEN Scanner

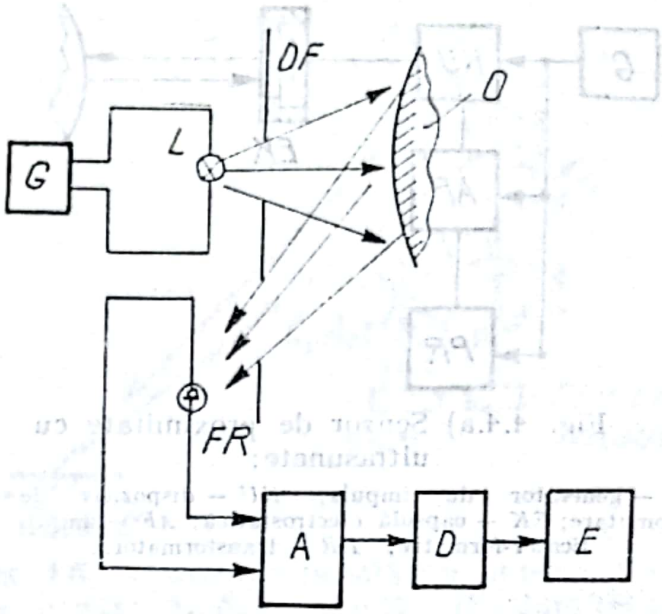


Fig. 4.3. Senzor optic de proximitate:
G — generator de tensiune; *L* — lampă; *DF* — diafragmă; *O* — obstacol; *FR* — fotodiodă; *A* — amplificator; *D* — detector; *E* — emițător.

4.5.4. SENZORI DE ZONĂ ÎNDEPĂRTATĂ SAU FOARTE ÎNDEPĂRTATĂ

Pentru sesizarea obiectelor (și măsurarea distanței pînă la ele) din zona apropiată robotului (zonă cuprinsă între 1—2 cm și 1—2 m) se folosesc senzorii cu radiații (mai ales ultrasunete).

În figura 4.4, *a* este prezentată schema de principiu a unui senzor cu ultrasunete.

Impulsuri de înaltă tensiune (generate de generatorul *G*) trec prin electrodul capsulei electrostatice *EK*, producînd deformarea membranei elastice. Ultrasunetele generate în acest mod se reflectă de obiectele din mediu de lucru și sînt captate de aceeași capsulă *EK* care joacă rol de emițător și receptor (pe timpul recepției, emisia este întreruptă). Exemple de echipare a robotului cu senzori de proximitate cu ultrasunete sînt prezentate în fig. 4.4, *b* și *c*.

Lungimea intervalului de timp între impulsul emis și cel recepționat este direct proporțională cu distanța dintre senzor și obiect.

Pentru măsurarea distanțelor față de obiecte aflate la distanță de cinci sau mai mulți metri se folosesc telemetre (cu ultrasunete, laser etc.). Schema funcțională a unui telemetru cu ultrasunete este prezentată în figura 4.5.

Canalul de emisie este separat de cele două de recepție P_1 și P_2. Ultrasunetele emise de emițătorul *I*, reflectate de obstacolul din mediu, sînt recepționate de cele două capsule electrostatice ale canalelor receptoare.

Scanned with OKEN Scanner

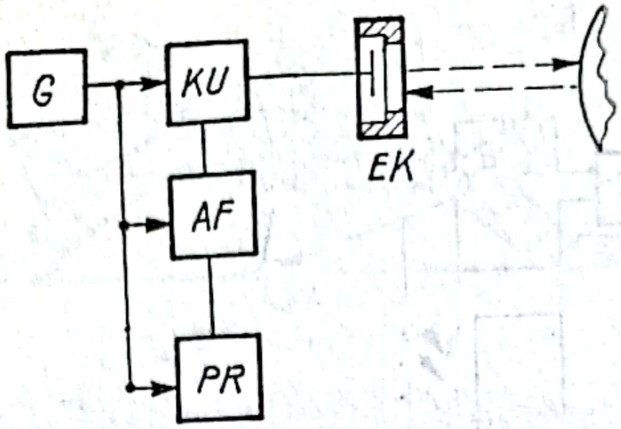
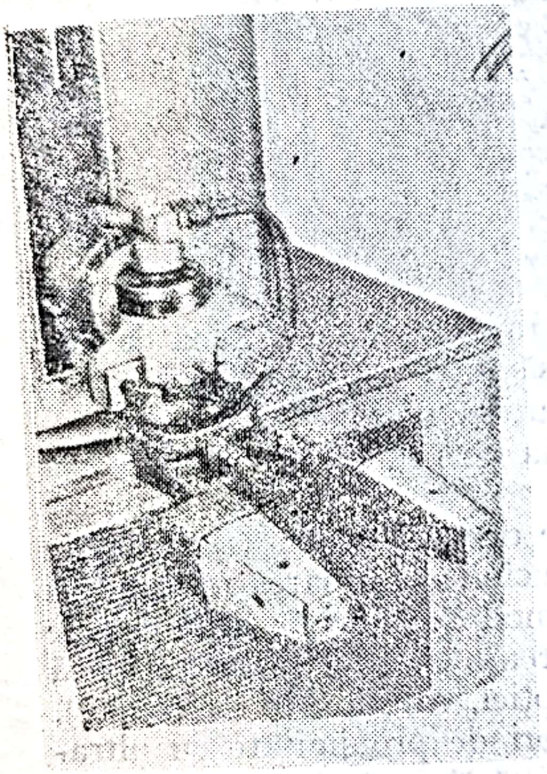


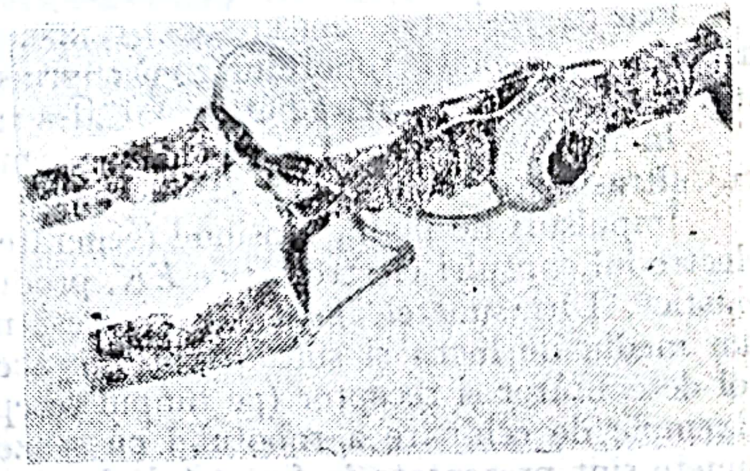
Fig. 4.4.a) Senzor de proximitate cu ultrasunete:

G — generator de impuls; *KU* — dispozitiv de comutare; *EK* — capsulă electrostatică; *AF* — amplificator-formativ; *PR* — transformator.



b) Exemplu de echipare a robotului cu senzori de proximitate cu ultrasunete.

c) Exemplu de echipare a robotului cu senzori de proximitate cu ultrasunete.



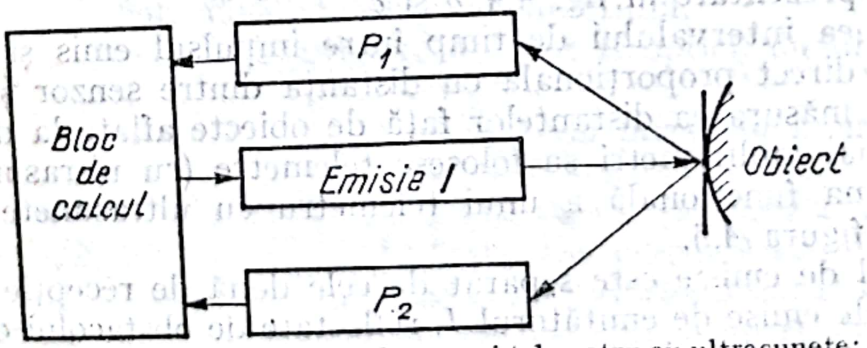


Fig. 4.5. Schema funcțională a unui telemetru cu ultrasunete: P_1, P_2 — canale de recepție.

Scanned with OKEN Scanner

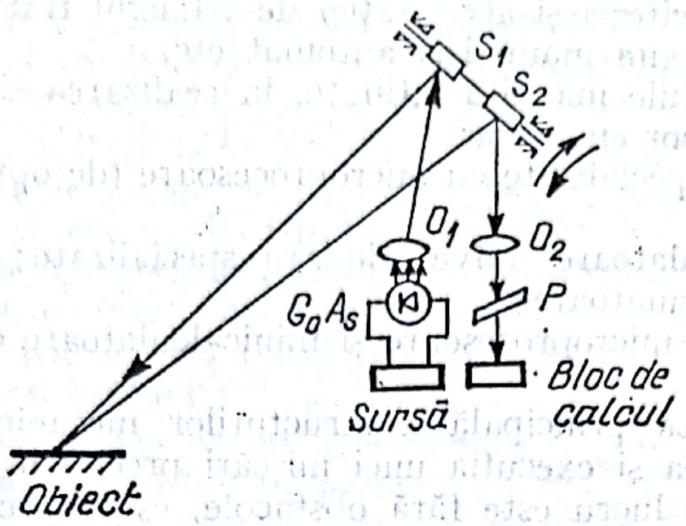


Fig. 4.6. Schema funcțională a unui telemetru laser:
O_1 = obiect; S_1, S_2 — oglindă; P — fotoreceptor.

Pe lîngă măsurarea distanței pînă la obiect (realizată după principiul prezentat în §4.5) se poate efectua și centrarea telemetrului pe obiectul măsurat (funcție de diferența semnalelor recepționate pe cele două canale).

În figura 4.6 este prezentată schema funcțională a unui telemetru laser. Raza laser, focalizată de obiectivul O_1, este dirijată fin de oglinda S_1 (care are o mișcare de rotație) spre obiectul din mediu de lucru. Unda reflectată de obiect este captată de oglinda S_2, care se mișcă sincron cu oglinda S_1 și transmisă fotoreceptorului P (format dintr-o linie de fotodiode). Schimbarea poziției razei recepționate pe linia de fotodiode este funcție de distanța dintre senzor și obiect. Localizarea și recunoașterea obiectelor din zona îndepărtată, poate fi făcută și cu senzori vizuali, compleși, cum ar fi camerele TV.

4.6. SISTEME DE PROGRAME PENTRU COMANDA ȘI PROGRAMAREA MIȘCĂRII STRUCTURILOR MECANICE DE MANIPULARE AUTOMATĂ

Folosirea echipamentelor de calcul (minicalculatoare, microcalculatoare, sisteme multiprocesor etc.) în sistemele de comandă și programare a mecanismelor spațiale active a permis o programare flexibilă și ușoară, mișcarea în coordonate carteziene cu bune performanțe dina-

Scanned with OKEN Scanner

mice, controlul vitezei și accelerației de-a lungul traiectoriei, mișcarea coordonată în regim manual și automat etc.

Dintre soluțiile mai des întîlnite, în realizarea sistemelor mai sus menționate, se pot enumera:

— sisteme specializate cu microprocesoare (de opt sau șaisprezece biți);

— minicalculatoare universale sau specializate;

— microcalculatoare;

— rețele de microprocesoare și minicalculatoare cu acces la calculatoare mari.

Caracteristica principală a structurilor mecanice de manipulare este programarea și execuția unei mișcări precise în spațiul de lucru. Dacă spațiul de lucru este fără obstacole, este suficientă planificarea traiectoriei corpului condus.

În cazul prezenței obstacolelor, trebuie verificat că toate configurațiile structurii mecanice (din timpul mișcării) nu intră în coliziune cu obstacolele.

Instrucțiunile de mișcare au două faze, una de planificare și alta de execuție. La majoritatea tipurilor de mișcări, planificarea traiectoriei poate fi făcută înaintea execuției ei. Sînt tipuri de mișcări (manipularea obiectelor aflate pe linii, deplasări în medii parțial cunoscute etc.) la care planificarea trebuie făcută în timp real, odată cu execuția mișcării.

La rîndul ei, planificarea mișcării constă în stabilirea punctelor esențiale ale traiectoriei (date prin program sau stabilite cu ajutorul sistemului senzorial) și folosirea unor funcții de interpolare (polinomiale, sinusoidale, cosinusoidale, exponențiale etc.) între aceste puncte.

Pornind de la analiza funcțiilor necesare pentru programarea și comanda structurilor mecanice de manipulare rezultă modulele principale ale sistemului de programe: generarea traiectoriilor de mișcare, execuția în timp real a mișcării planificate, comanda mișcării în regim normal, programarea prin instruire (sau cu ajutorul unui limbaj de programare), interpretarea programului, execuția pas cu pas a programului în vederea depanării, scrierea și citirea programului pe suport magnetic etc.

Toate modulele de programare trebuie să funcționeze sub un sistem de operare (monitor specializat), cu facilități de timp real (sincronizare, comunicare între unitățile de program, declanșarea de întreruperi software asincrone, tratarea întreruperilor externe etc.)

În cazul general, o structură de calcul, folosită la programarea și comanda mecanismelor spațiale, este formată dintr-o unitate centrală (mai multe în cazul sistemelor multiprocesor), memorie internă (RAM —

Scanned with OKEN Scanner

Random Access Memory, ROM — Read Only Memory, PROM — Programable ROM etc.), memorie externă (disc flexibil, casetă magnetică) consolă specializată de instruire, consolă universală, interfață specializată cu sistemul de măsură și acționare al robotului.

În continuare sînt descrise principalele module de programe, care alcătuiesc sistemul de programare (netextuală și textuală) și comandă a structurilor mecanice de manipulare.

Editorul de texte creează și modifică programul robot în format sursă (programare textuală).

Compilatorul transformă programul din format sursă în format obiect (programare textuală).

Monitorul consolă specializată generează și modifică programul de mișcare al structurii mecanice (programare netextuală).

Comanda manuală realizează mișcarea în regim manual (independent pe fiecare grad de libertate sau coordonat în coordonate operaționale) a structurii mecanice de manipulare.

Depanatorul execută programul pas cu pas, stabilește puncte de întrerupere în program, afișează și modifică conținutul unor locații de memorie etc.

Monitorul sistem stabilește regimurile de lucru (programare, automat, manual) și coordonează execuția tuturor modulelor de program.

Interpretorul execută succesiv instrucțiunile programate.

Generatorul de traiectorie interpolează traiectoriile de mișcare (între punctele programate) în coordonate generalizate sau operaționale, folosind funcții polinomiale, sinusoidale, cosinusoidale, exponențiale etc.

Transformatorul de coordonate realizează transformarea traiectoriilor de mișcare (poziție și viteză), din coordonate operaționale (carteziene, cilindrice etc.) în coordonate generalizate.

Execuție mișcare implementează numeric o structură de comandă a mișcării. Funcție de caracteristicile sistemului de programare și comandă, mai pot exista și alte module de program.

4.7. COMPORTAMENTUL INTELIGENT A STRUCTURILOR MECANICE DE MANIPULARE AUTOMATĂ

Folosirea mecanismelor active la construcția roboților de manipulare, dezvoltările spectaculoase din ultimul timp în electronică și informatică fac să se vorbească din ce în ce mai mult de un comportament inteligent atribuit mașinilor (roboți inteligenți).

Scanned with OKEN Scanner

Aceste mașini „văd, aud și înțeleg limbajul natural, răspund în limbaj natural, simt și iau decizii", în mod autonom, pentru realizarea comenzilor primite de la operatorii umani. Astfel de mașini inteligente cuprind sisteme de vedere artificială, de înțelegere a limbajului natural, de prelucrare a informației senzoriale, de generare a răspunsurilor în limbaj natural, de planificare și decizie, de navigație de lucru etc.

Pînă în prezent s-au obținut rezultate de laborator semnificative în toate domeniile mai sus amintite. Planificarea automată a acțiunilor robotului este activitatea inteligentă prin care trebuie să se găsească o traiectorie optimă (funcție de un anumit criteriu) spre o stare dorită.

Deoarece spațiul stărilor mediului real este infinit, se caută o traiectorie pe o submulțime finită, în care sînt definite reguli de transformare a unei stări în alta.

Cercetările (de inteligență artificială) s-au concentrat asupra elaborării strategiilor de căutare a unei traiectorii optime în spațiul de stare, de definire a unor funcții care să evalueze criteriile pentru traiectoriile optime, care să fie autoinstruibile și să-și mărească performanțele impuse.

Pentru înțelegerea limbajului natural nu este suficientă o gramatică și un dicționar, trebuie înțeles sensul propoziției (care este o comandă adresată robotului inteligent).

În general, se folosește un model al unui mediu specializat de lucru, în care sînt descrise obiectele, relațiile dintre ele și acțiunile care se pot executa.

Sistemele senzoriale (inclusiv vederea artificială), cele de sintetizare a vocii (pentru generarea răspunsurilor în limbaj natural) se dezvoltă datorită cercetărilor în electronică funcțională, informatică, automatică, inteligență artificială, nedepășind încă stadiul de laborator.

Sistemele de navigație, care asigură deplasarea în teren a structurilor de manipulare, folosesc de asemenea multe tehnici specifice inteligenței artificiale.

Din informația furnizată de sistemul senzorial și din descrierile apriori făcute de operatorul uman se construiește o hartă a terenului. Sistemul de planificare stabilește o traiectorie optimă de deplasare (consum minim de energie, timp minim de deplasare etc.) spre poziția țintă cu ocolirea obstacolelor.

Astfel de mașini inteligente au fost implementate pe structuri de calcul foarte complexe și puternice (sisteme locale cu microprocesoare, micro- și minicalculatoare, interconectate în rețea cu calculatoare mari).

Tendința actuală în dezvoltarea roboților inteligenți este mărirea complexității pentru simplificarea folosirii lor.

Scanned with OKEN Scanner

4.8. COMANDA ROBOȚILOR ÎN APLICAȚII DE ASAMBLARE MECANICĂ

Aplicațiile de asamblare mecanică, realizate cu roboții industriali reprezintă un punct de atracție puternic pentru cercetările în robotică. Unele sisteme de asamblare robotizată au depășit stadiul de laborator și au fost experimentate cu succes în industrie, dar numărul lor rămîne încă foarte mic, datorită costului ridicat și a problemelor de fiabilitate. Roboții folosiți în aplicații de asamblare trebuie să prezinte posibilități de adaptare la mediu (prin senzori de forță și sisteme de vedere artificială), să fie programați prin metode textuale și să manifeste caracteristici inteligente (să genereze și să execute un plan de asamblare).

Problema de bază în comanda mișcării roboților de asamblare este inserarea unui bolț într-un alezaj (bolțul și alezajul avînd forme diferite și putînd fi ambele în mișcare).

În mod ideal, pentru o aplicație de asamblare sistemul de comandă al robotului trebuie să asigure o bună poziționare. Dar dimensiunile geometrice ale obiectelor nu pot fi cunoscute întotdeauna cu precizie, structura mecanică fiind elastică și chiar sistemul de comandă nu poate asigura precizii mari de poziționare la prețuri acceptabile. De asemenea, în orice aplicație de asamblare pot interveni perturbații.

Din această cauză, sistemul de comandă trebuie să măsoare și să folosească în algoritmul de comandă forțele de reacțiune care apar între obiectele în contact.

Simularea dinamicii fenomenului de inserție prezintă multe dificultăți, deoarece modelul matematic se modifică în funcție de numărul punctelor de contact dintre obiectele care se asamblează, iar caracteristicile forțelor de reacțiune se modifică dacă apar fenomene de alunecare între obiecte etc.

Realizarea sistemelor de comandă a roboților, utilizați în aplicații de asamblare, au urmat două căi diferite:

— comanda mișcării în funcție de informația de forță exercitată între mîna robotului și obiectele asamblate (complianță activă);

— folosirea unor dispozitive elastice, montate în mîna robotului, care prin deformare să compenseze lipsa de precizie în poziționarea robotului și toleranțele pieselor asamblate (complianță pasivă);

Evident, a doua metodă este mai simplă și mai ieftină, dar dispozitivul elastic montat pe robot depinde de fiecare aplicație particulară de asamblare. Prima metodă de comandă, mai greu de realizat, este

Scanned with OKEN Scanner

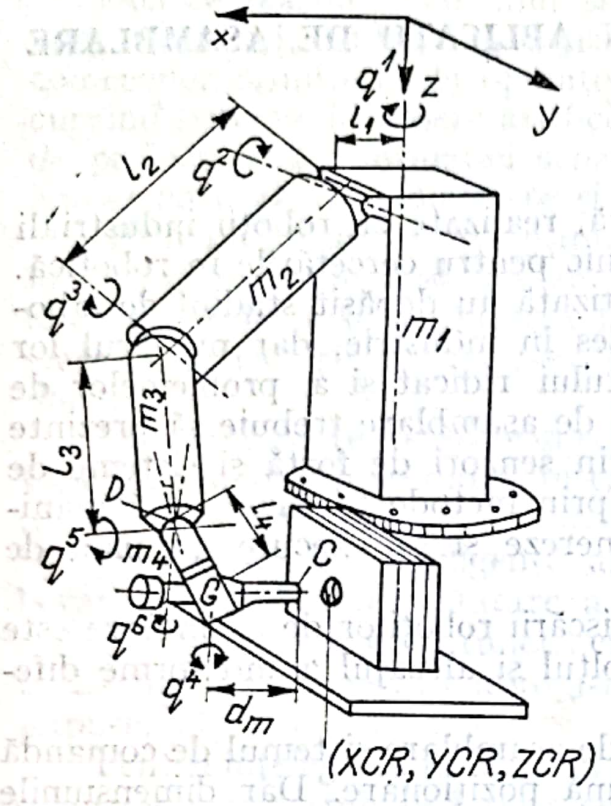


Fig. 4.7. Aplicație de asamblare.

independentă de aplicația de asamblare. Utilizarea robotului în altă aplicație de asamblare necesită numai reprogramarea lui.

Pentru analiza operației de asamblare se consideră manipulatorul din fig. 4.7. Structura mecanică are șase grade de mobilitate și este formată din patru corpuri. În figură se prezintă condițiile inițiale ale operației de inserție (bolțul este adus coaxial cu alezajul).

Asupra geometriei obiectelor care se inserează se fac următoarele ipoteze:

— bolțul este un cilindru de lungime d_m și diametrul $2r_m$;

— alezajul este cilindric de lungime D_m și diametrul $2R_m$;

— toleranța la inserție este $2(R_m - r_m)$; $r_m \geq r_m$;

— bolțul se inserează în alezaj pe o lungime $h_1 \leqslant D_m$;

— contactul mînă-robot-bolț se face într-un plan paralel cu baza bolțului;

— centrul de greutate al bolțului și al mîinii robotului sînt coliniare cu axa gradului de mobilitate numărul șase al robotului;

— contactul mînă robot-bolț se face la distanța d_1 față de ultimul grad de mobilitate al robotului;

— distanța dintre baza bolțului și gradul de mobilitate șase al robotului este d_2; $(d_2 - d_1) \leqslant d_m$.

În timpul operației de inserție bolțul vine în contact cu peretele alezajului generînd o forță de reacțiune. Contactul celor două corpuri generează forțe de frecare și poate duce la blocarea corpurilor în timpul operației de inserare. Contactul între bolț și alezaj se poate efectua în mai multe moduri:

— un singur punct de contact între muchia alezajului și suprafața bolțului (fig. 4.8);

— un singur punct de contact între muchia bolțului și suprafața alezajului (fig. 4.9);

— două puncte de contact între muchia alezajului și suprafața bolțului și între muchia bolțului și suprafața alezajului (fig. 4.10);

— o infinitate de puncte de contact de-a lungul generatoarei bolțului și alezajului (fig. 4.11).

Scanned with OKEN Scanner

Dacă nu are loc nici un contact între bolț și alezaj atunci mișcarea robotului este liberă și nu apar complicațiile mișcării de contact.

Se începe analiza procesului de inserție cu contactul bolț-alezaj realizat într-un singur punct. În fig. 4.8 și 4.9 sînt reprezentate forțele de reacțiune $\mathbf{R}_{k1}$, $\mathbf{R}_{k2}$ care trebuie determinate prin proiecțiile lor în sistemul fix de referință al robotului. Interesante pentru studiul mișcării sînt componentele normale $\mathbf{N}_{k1}$, $\mathbf{N}_{k2}$ și cele tangențiale $\mathbf{T}_{k1}$ și $\mathbf{T}_{k2}$. Forța de frecare care apare la contactul celor două corpuri poate permite alunecarea (A) sau nu permite alunecarea (B).

Coeficientul de frecare μ între bolț și alezaj se consideră cunoscut. Cele două cazuri sînt descrise de următoarele condiții:

$$\text{A)}\ \mathbf{T}_{kI} = \mu \mathbf{N}_{kI};\quad I = 1,\ 2 \tag{4.48}$$

$$\text{B)}\ \mathbf{T}_{kI} > \mu \mathbf{N}_{kI};\quad I = 1,\ 2. \tag{4.49}$$

În cazul A punctul de contact se schimbă, iar viteza liniară tangențială este în direcția lui $\mathbf{T}_{kI}$.

În cazul B punctul de contact nu se schimbă și bolțul poate avea numai o viteză de rotație în jurul punctului K_I (accelerația liniară este nulă; $I = 1,2$).

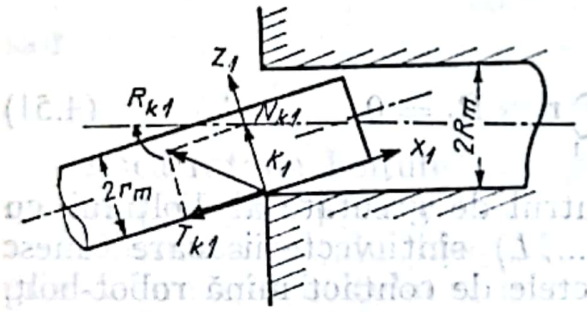


Fig. 4.8. Contact muchie alezaj - suprafață bolț (printr-un singur punct).

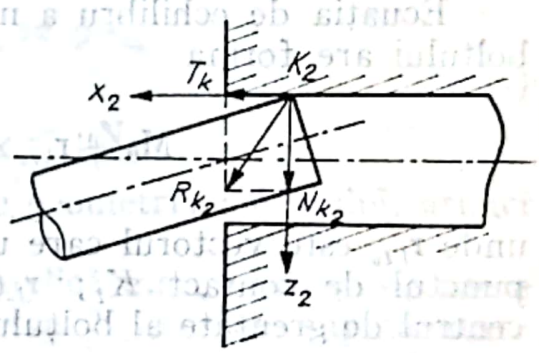


Fig. 4.9. Contact muchie bolț - suprafață alezaj (printr-un singur punct).

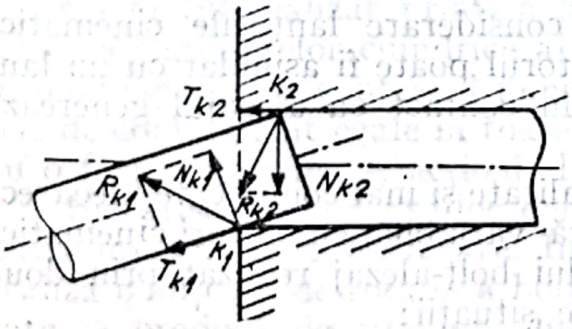


Fig. 4.10. Contact bolț - alezaj prin 2 puncte.

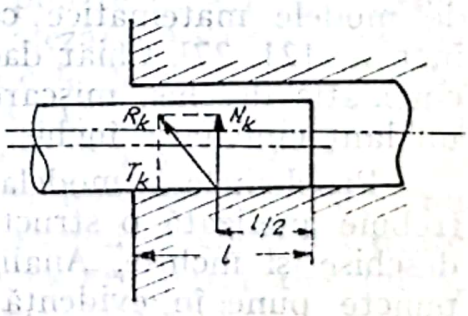


Fig. 4.11. Contact bolț - alezaj printr-o infinitate de puncte.

Scanned with OKEN Scanner

Componentele normale ale vitezelor liniare sînt zero în modul, dar de sens contrar cu forța normală $\mathbf{N}_{kI}$. Dacă aceste componente sînt nule, dar de același sens cu forța $\mathbf{N}_{kI}$, atunci contactul este numai aparent.

Dinamica bolțului este determinată de următoarele forțe: $\mathbf{F}_0$ — forță de inerție; $\mathbf{G}_0 = m_0\mathbf{g}$ — forță de greutate; $\mathbf{R}_l$ — forța cu care mîna robotului acționează asupra bolțului, iar $l = 1, 2, ..., L$ reprezintă numărul de puncte de contact între mîna robotului și bolț; $\mathbf{R}_{kI}$ — forța de reacțiune datorată contactului dintre bolț și alezaj.

Ecuația echilibrului dinamic a forțelor care acționează asupra bolțului este

$$\mathbf{F}_0 + \mathbf{G}_0 + \mathbf{R}_{kI} + \sum_{l=1}^{L} \mathbf{R}_l = 0. \tag{4.50}$$

Asupra centrului de greutate al bolțului acționează următoarele momente:

— momentul forțelor de inerție $\mathbf{M}_0$;

— momentul forțelor de contact între mîna robotului și bolț;

— momentul forțelor de contact între bolț și alezaj.

Ecuația de echilibru a momentelor față de centrul de greutate al bolțului are forma

$$\mathbf{M}_0 + \mathbf{r}_{kI_0} \times \mathbf{R}_{kI} + \sum_{l=1}^{L} \mathbf{r}_{l_0} \times \mathbf{R}_l = 0 \tag{4.51}$$

unde $\mathbf{r}_{kI_0}$ este vectorul care unește centrul de greutate al bolțului cu punctul de contact K_I; $\mathbf{r}_{l_0}(l = 1, 2, ..., L)$ sînt vectorii care unesc centrul de greutate al bolțului cu punctele de contact mînă robot-bolț.

Ecuațiile (4.50) și (4.51) determină dinamică mișcării bolțului cînd se realizează numai un punct de contact între bolț și alezaj.

Se face observația că dinamica manipulatorului trebuie descrisă de modele matematice care iau în considerare lanțurile cinematice închise [121, 27]. Chiar dacă manipulatorul poate fi asimilat cu un lanț cinematic deschis, mișcarea bolțului în contact cu alezajul generează un lanț cinematic închis.

Problemele de modelare sînt în realitate și mai complicate, deoarece trebuie analizată o structură mecanică variabilă, cu lanțuri cinematice deschise și închise. Analiza contactului bolț-alezaj realizat prin două puncte pune în evidență următoarele situații:

a) alunecarea se produce la ambele puncte de contact K_1 și K_2, iar bolțul este inserat în alezaj;

Scanned with OKEN Scanner

b) alunecarea nu se produce la punctele de contact, bolțul se blochează în alezaj;

c) alunecarea se produce numai la punctul de contact K_2, iar bolțul se rotește în jurul lui K_1 (restricțiile geometrice permit acest lucru), pierzînd contactul în K_2.

Mișcarea de inserare a bolțului în alezaj are loc dacă alunecarea se produce la punctul de contact K_2, iar mișcarea de rotație în jurul lui K_1, altfel bolțul se va bloca în alezaj.

Unul din cele trei cazuri a), b), c) rezultă în funcție de forțele de reacțiune în punctele de contact K_1 și K_2. Dacă este îndeplinită condiția

$$T_{k_1} < \mu N_{k_1}; \quad T_{k_2} < \mu N_{k_2} \tag{4.52}$$

atunci nu se produce alunecarea în punctele K_1 și K_2, iar bolțul se blochează în alezaj.

Dacă este îndeplinită condiția

$$T_{k_1} = \mu N_{k_1}; \quad T_{k_2} = \mu N_{k_2} \tag{4.53}$$

atunci are loc mișcarea de alunecare în punctele K_1 și K_2, iar bolțul intră în alezaj.

Condițiile pentru cazul c) se pot scrie sub forma

$$T_{k_1} < \mu N_{k_1} \text{ și } T_{k_2} = \mu N_{k_2}$$

sau (4.54)

$$T_{k_1} = \mu N_{k_1} \text{ și } T_{k_2} < \mu N_{k_2}.$$

Dacă rotația bolțului este permisă de geometria alezajului, atunci operația de inserție are loc.

Dinamica bolțului blocat în alezaj complică mult analiza, deoarece prin deformarea bolțului se introduce un grad de libertate suplimentar. Sistemul de comandă trebuie să compenseze forțele exterioare în așa fel încît mișcarea de alunecare și cea de rotație permisă de geometrie să se producă, inserînd bolțul în alezaj.

Contactul realizat printr-o infinitate de puncte de-a lungul generatoarei suprafețelor cilindrice ale bolțului și alezajului se poate studia în mod similar cu contactul punctiform între cele două suprafețe. Forțele de contact sînt egale în toate punctele generatoarei și se pot înlocui cu o forță echivalentă, acționînd la jumătatea liniei de contact.

Blocarea bolțului are loc dacă componenta tangențială a forței nu poate învinge forța de frecare. În acest caz sistemul de comandă poate realiza o mișcare de rotație a bolțului (funcție de geometria alezajului), care să producă desprinderea lui de suprafața alezajului.

În continuare se va analiza modelul dinamic al manipulatorului

Scanned with OKEN Scanner

care realizează o mișcare în contact cu alte obiecte (operația de inserare a aplicației de asamblare)

$$\mathbf{P} = \mathbf{H}(\mathbf{q})\mathbf{q}'' + \mathbf{h}(\mathbf{q}, \mathbf{q}') + \delta_1 \mathbf{C}_{k_1} \mathbf{R}_{k_1} + \delta_2 \mathbf{C}_{k_2} \mathbf{R}_{k_2} \tag{4.55}$$

unde $\mathbf{H} \in R^{n \times n}$, $\mathbf{h} \in R^n$ sînt matrice corespunzătoare modelului manipulatorului în mișcare liberă; $\mathbf{C}_{k_1}$, $\mathbf{C}_{k_2} \in R^{n \times 3}$ matrice care descriu mișcarea în contact; $\mathbf{R}_{k_1}$ și $\mathbf{R}_{k_2}$ forțele de reacțiune în punctele de contact k_1 și k_2; δ_1, δ_2 parametrii care iau valoarea unu dacă contactul se face în punctul kI ($I = 1,2$) sau valoarea zero dacă contactul nu se face în acel punct.

Evident, sistemul de ecuații diferențiale (4.55) nu este neted, deoarece la momentul impactului bolț-alezaj au loc discontinuități în vectorul de stare $\xi = (q_1, ..., q_n; q_1', ..., q_n')_T$.

În intervalele de timp înainte și după producerea contactului, sistemul (4.55) este considerat neted și poate fi pus sub forma ecuațiilor de stare [79]

$$\xi' = \mathbf{A}(\xi) + \mathbf{B}(\xi)\,\mathbf{P} + \delta_1 \mathbf{F}_1(\xi)\,\mathbf{R}_{k_1}(\xi, \xi') + \delta_2 \mathbf{F}_2(\xi)\,\mathbf{R}_{k_2}(\xi, \xi')$$

$$\mathbf{A}(\xi) = [\mathbf{q}'^T \quad (-\mathbf{H}^{-1}\mathbf{h})]^T \in R^{2n}$$

$$\mathbf{B}(\xi) = [0 \;\; \mathbf{H}^{-1}]^T \in R^{2n \times n} \tag{4.56}$$

$$\mathbf{F}_I = [0 \quad (-\mathbf{H}^{-1}\mathbf{C}_{kI})^T]^T \in R^{2n \times 3};\; I = 1,2;$$

unde $\mathbf{R}_{k_1}(\xi, \xi')$ și $\mathbf{R}_{k_2}(\xi, \xi') \in R^3$ sînt vectorii forțelor de reacțiune.

Modelul dinamic (4.56) nu explicitează vectorul ξ' (forma canonică a modelului dinamic), deoarece este foarte greu să se reprezinte analitic forțele de reacțiune $\mathbf{R}_{k_1}(\xi, \xi')$ și $\mathbf{R}_{k_2}(\xi, \xi')$.

De fiecare dată cînd are loc un impact între cele două obiecte, parametrii δ_1 și δ_2 se modifică din zero în unu și invers, producînd un salt în variația vectorului de stare.

Modelul (4.56) se consideră valabil pe intervalul de timp T din care s-au eliminat momentele de timp cînd are loc impactul:

$$T = (0, \tau) - \{t_i : i = 1, ..., N_s\} = T^* - T_N$$

unde $\tau > 0$ este timpul la care se termină mișcarea; t_i — momentele de timp cînd se produce impactul între cele două corpuri; N_s — numărul de impacte pe parcursul procesului de inserare.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru momentele de discontinuitate (impact) se folosește în modelare următorul sistem de ecuații diferențiale

$$\xi' = \gamma(t_i)\,(\overline{\xi} - \xi(t_i)); \quad \forall t \in T_N \tag{4.57}$$

$$\xi(t_i) = \lim_{\substack{t \to t_i \\ t < t_i}} (\xi(t))$$

$$\gamma(t) = \int_{t_{i-}}^{t_{i+}} \gamma(t)\,dt = 1 \quad \text{(funcția Dirac)}$$

unde $\xi(t)$ este soluția sistemului de ecuații diferențiale (4.56), $\overline{\xi}$ variația în treaptă a stării după impact, iar t_{i-} și t_{i+} reprezintă $t \to t_i (t < t_i)$ și $t \to t_i (t > t_i)$.

Modelele (4.56) și (4.57) se folosesc pentru analiza comportării dinamice a operației de inserare a unui bolț într-un alezaj.

Dacă analiza dinamică ține seama și de sistemul de acționare al robotului, atunci sistemul de ecuații diferențiale (4.56) se extinde în mod corespunzător cu modelele motoarelor electrice, hidraulice etc.

În cazul acționărilor electrice, vectorul de stare al întregului sistem (manipulator + motoare electrice) are forma

$$\mathbf{x} = (q_1, \ldots, q_n;\ q_1', \ldots, q_n';\ i_1, \ldots, i_n)^T \in R^{3n}$$

unde $i_1, \ldots, i_n$ sînt curenții rotorici.

Modelul dinamic extins devine

$$\dot{\mathbf{x}} = \hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x}) + \hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x})\mathbf{N}(\mathbf{u}) + \delta_1 \hat{\mathbf{F}}_1(\mathbf{x})\mathbf{R}_{k_1}(\mathbf{x}) + \delta_2 \hat{\mathbf{F}}_2(\mathbf{x})\mathbf{R}_{k_2}(\mathbf{x}) \tag{4.58}$$

unde $\hat{\mathbf{A}}(\mathbf{x}) \in R^{3n}$, $\hat{\mathbf{B}}(\mathbf{x}) \in \mathbf{R}^{3n \times n}$, $\hat{\mathbf{F}}_1(\mathbf{x}) \in R^{3n \times 3}$; $\hat{\mathbf{F}}_2(\mathbf{x}) \in R^{3n \times 3}$; $\mathbf{N}(\mathbf{u}) \in R^n$ este o funcție neliniară de tip saturație; $\mathbf{x} \in R^{3n}$ — vector de stare; $\mathbf{u} \in R^n$ — vector de comandă; $\delta_{1,2} = \{+1, 0\}$ — parametrii care descriu contactul între cele două corpuri; $\mathbf{R}_{k_1}(\mathbf{x})$, $\mathbf{R}_{k_2}(\mathbf{x}) \in R^3$ — forțele de reacțiune care apar în punctele de contact.

Sinteza sistemului de comandă a mișcării robotului se face în două etape. În prima etapă se determină dinamica nominală $\mathbf{x}^0(t)$ $(\forall t \in T^*)$ și comanda programată $\mathbf{u}^\circ(t)(\forall t \in T^*)$ pentru introducerea bolțului în alezaj în condiții ideale.

Calculul comenzii programate poate fi și el împărțit în două faze: comanda brațului robotului (neglijînd mîna sa) astfel încît axa bolțului să fie paralelă cu axa alezajului, la care se suprapune comanda orientării mîinii în așa fel ca axele celor două corpuri să coincidă.

Scanned with OKEN Scanner

Etapa a doua corespunde calculului dinamicii perturbate, care determină comenzi locale pentru fiecare grad de libertate, funcție de informația de forță măsurată.

Evident au fost dezvoltate și alte metode de sinteză a comenzii mișcării roboților care lucrează în operații de asamblare [121, 27, 44, 45].

4.9. CONCLUZII

Comanda și programarea structurilor mecanice de manipulare care intră în alcătuirea roboților trebuie studiate ca sisteme ierarhice.

Nivelele inferioare realizează programarea și comanda mișcării, iar cele superioare planificarea acțiunilor, prelucrarea informației senzoriale, modificarea acțiunilor funcție de informația din mediul de lucru, modelarea mediului de lucru etc. Pe nivelele inferioare și programarea se face mai dificil, cu metode netextuale sau limbaje de programare explicită. Pe nivele superioare, limbajele sînt de nivel înalt, ajungîndu-se ca la roboții inteligenți, programarea să fie făcută în limbaj natural. Comanda mișcării funcție de modelul dinamic (absolut necesară la mișcări rapide și precise) este dificil de realizat (§4.1 și §4.2).

Au fost dezvoltate multe metode de sinteză a comenzii mișcării (comandă clasică PID, comandă cinematică, comandă folosind metode de decuplare neliniară, comandă adaptivă, comandă optimală etc.), care sînt prezentate pe larg în lucrări de specialitate.

Echiparea structurilor mecanice cu senzori permite realizarea unei interacțiuni între mediu și mecanismul spațial activ. Folosirea informației senzoriale în sistemele lor de comandă permite realizarea unei adaptări la mediu. Cel mai des utilizați în aplicații industriale sînt senzorii de forță, tactili și de proximitate.

Camerele TV (simple-stereo, alb negru sau color), telemetrele laser etc. se folosesc la structurile mecanice din componența roboților evoluați, utilizați în principal la cercetări spațiale sau oceanografice.

În ultimul timp au fost introduse în aplicații industriale (inspecție automată, asamblări mecanice, celule de automatizare flexibilă etc.) și sisteme de vedere artificială (cu camere TV).

Creșterea fiabilității, a sensibilității, a preciziei și scăderea costului, a volumului și greutății senzorilor sînt tendințele actuale în dezvoltarea senzorilor folosiți la echiparea structurilor mecanice de manipulare.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 5

EFICIENȚA ECONOMICĂ A ROBOTIZĂRII PROCESELOR DE PRODUCȚIE INDUSTRIALĂ

5.1. EVALUAREA UTILIZĂRII ROBOȚILOR INDUSTRIALI PE BAZĂ DE CALCUL ECONOMIC

Din cercetările efectuate rezultă că metodologia de calcul a eficienței economice privind robotizarea proceselor de producție nu este unitară între diferiți utilizatori. Avantajele economice reale obținute au reliefat însă faptul că introducerea manipulatoarelor și roboților în procesele de producție nu numai că ridică cu anumite procente eficacitatea economică a automatizării, dar implementarea lor schimbă radical însăși concepția de structurare a proceselor tehnologice. Roboții cu grad ridicat de flexibilitate în mișcări conferă proceselor tehnologice posibilitatea de adaptare rapidă și eficientă sub raport economic, la realizarea de operații noi în succesiuni diferite. Ca efect, se obține o reducere considerabilă a cheltuielilor și termenelor de pregătire a fabricației de produse cu caracter de serie mică sau unicate. Astfel, se deschide calea organizării tehnologice flexibile, în care devine preponderentă specializarea-produs în opoziție cu specializarea-proces cunoscută în fabricile convenționale. O astfel de organizare presupune realizarea în cadrul unei aceleiași linii de fabricație a unor operații diferite ca: pre-

Scanned with OKEN Scanner

lucrări mecanice, asamblare, tratamente de suprafață, control de calitate etc. Asemenea instalații robotizate, cu funcționare autonomă, sînt cunoscute sub denumirea de *celule flexibile de fabricație* și ele constituie punctul de plecare în organizarea, la un nivel mai înalt, a „sistemelor flexibile de fabricație" și a „fabricii fără oameni" sau „fabricii complet automate". (v. § 9.1).

Se subliniază totuși că în etapa actuală costurile roboților industriali sînt încă ridicate, ceea ce impune ca orice implementare în procesul de producție să fie fundamentată din punct de vedere economic.

În cele ce urmează ne vom referi la metodologii de calcul economic aplicate în diferite țări dezvoltate din punct de vedere industrial.

În U.R.S.S. s-a adoptat o metodologie pentru determinarea eficienței economice a roboților (RI) ținîndu-se seama de destinația și gradul de specializare în diferite faze de dezvoltare și aplicare a lor. În acest sens se are în vedere clasificarea menționată în cap. 1.

Pentru studiul eficienței economice o importanță deosebită o reprezintă bazele de comparație, care pentru RIP și RIRT se stabilesc prin cercetări, întocmindu-se tabele speciale. Pentru RIP eficiența economică se compară cu eficiența utilajului tehnologic de bază sau cu consumul de muncă manuală.

RIRT destinați pentru deservirea utilajelor tehnologice de bază sînt considerați drept componente ale complexelor „utilaj de bază — RIRT". Calculul productivității RIRT (v. § 6.2) se efectuează pe baza creșterii productivității utilajului deservit. Dacă în faza de proiectare nu sînt cunoscute tipurile concrete de utilaj care intră în componența grupului tehnologic, atunci se alege un „model" mediu de utilaj tehnologic de bază care este înzestrat cu valori medii (de costuri, de productivitate, de spațiu ocupat etc.) și care poate fi deservit de RIRT.

Pentru RIU, în cazul în care nu se cunoaște exact domeniul de utilizare se face calculul pe cîteva variante de folosire predominante, atît pentru producție cît și pentru operații de ridicat și transportat între diverse utilaje. Efectul economic scontat se determină după indicatorii medii pătratici mai înalți obținuți prin calcule.

La aprecierea eficienței economice o influență însemnată o exercită concordanța dintre posibilitățile funcționale ale elementelor de MARC (deci implicit a RI) și domeniile de utilizare respective. De aceea, la proiectarea lor trebuie să se determine și să se fundamenteze cerințele de bază, cum sînt de exemplu:

— pentru RIP, componența operațiilor, necesitățile de productivitate, parametrii tehnici principali;

— pentru RIRT, nomenclatura utilajelor care vor fi deservite, durata necesară prelucrării pieselor respective, durata încărcării utila-

Scanned with OKEN Scanner

jului, parametrii constructivi și tehnologici ai pieselor reprezentative (formă, dimensiune, masă), cerințele ce se impun sistemelor de prindere, mărimea loturilor de piese lansate, parametrii tehnici ai utilajelor tehnologice deservite, cerințele de amplasare a grupului tehnologic complex, parametrii principali ai elementului de MARC (precizie, capacitate, viteză etc.).

Rezultă deci că una din posibilitățile importante de evaluare a eficienței economice a robotizării proceselor de producție este aceea de a stabili creșterea indicatorilor tehnico-economici și social-economici pe ansamblul sistemului de marcizare în care se află integrați roboții industriali.

5.1.1. CALCULUL OPORTUNITĂȚII TEHNICE DE APLICARE A MARCIZĂRII

Pentru a stabili, într-un anumit caz concret, dacă este sau nu oportună introducerea sau modernizarea marcizării, se poate proceda la un calcul comparativ între soluția propusă și situația existentă luîndu-se în considerare baza de comparație corespunzătoare cazului analizat. Se precizează că s-a notat cu indicele „1" soluția existentă și indicele „2" soluția ce se elaborează. Calculul comparativ se face pe baza a doi indicatori: K_p — indicatorul de creștere a performanțelor și K_d — indicatorul de disponibilitate.

Valoarea acestor indicatori se calculează după cum urmează

$$K_p = \sum_{i=1}^{7} K_i \tag{5.1}$$

în care $K_1 = V_1/V_2$ reprezintă raportul volumelor zonelor (spațiilor) de lucru ocupate, $K_2 = t_1/t_2$ raportul ciclurilor de lucru ($t_2 < t_1$), $K_3 = p_2/p_1$ coeficientul raportului sarcinilor de lucru (de ridicat, transportat, manipulat), $K_4 = \Delta_1/\Delta_2$ raportul preciziilor de efectuare a operațiilor de lucru, $K_5 = N_2/N_1$ raportul numărului locurilor de muncă deservite, $K_6 = n_2/n_1$ raportul numărului operațiilor tehnologice executate ($n_2 > n_1$), $K_7 = i_2/i_1$ raportul dintre numărul gradelor de mobilitate;

$$K_d = \frac{T_0}{T_0 + T_B} \tag{5.2}$$

în care T_0 reprezintă durata medie de bună funcționare și T_B durata lucrărilor de reparații și întreținere.

Se consideră că acțiunea de marcizare este oportună dacă $K_p > 1$ și indicatorul $K_{d_2} > K_{d_1}$.

Scanned with OKEN Scanner

5.1.2. CALCULUL EFICIENȚEI SOCIAL-ECONOMICE DE APLICARE A MARCIZĂRII

Eficiența social-economică se poate calcula cu formula

$$E_s = E_t + E_{as} + E_p + E_i \tag{5.3}$$

în care E_t reprezintă economii provenite din micșorarea fluctuației cadrelor și care se compun din economii de reducerea cheltuielilor de pregătirea cadrelor și din reducerea pierderilor de producție provocate de fluctuația forței de muncă, E_{as} economia de cheltuieli pentru asigurări sociale, E_p economia rezultată din micșorarea pagubelor înregistrate prin nerealizări de plan datorate îmbolnăvirilor și accidentelor de muncă, grație îmbunătățirii condițiilor de muncă, iar E_i economii realizate prin desființarea îndemnizațiilor pentru muncă grea.

5.1.3. CALCULUL EFICIENȚEI ECONOMICE DE APLICARE A MARCIZĂRII

Eficiența economică anuală rezultată din introducerea marcizării se poate determina cu următoarele relații:

a) **La nivelul economiei naționale**

$$E = E_1 N_2 \tag{5.4}$$

în care E reprezintă efectul economic anual în economia națională prin introducerea unor soluții noi de MARC, N_2 volumul producției anuale a elementului de MARC respectiv, iar E_1 efectul economic al producerii și utilizării unor soluții noi de MARC la un beneficiar. E_1 se calculează cu relația

$$E_1 = (C_1 + rC_{a_1})\, e\, \frac{A_1 + r}{A_2 + r} + \frac{(E_{x_1} + E_{x_2}) - r(I_2 - I_1) + E_s}{A_2 r} - (C_2 + rC_{a_2}) \tag{5.5}$$

în care indicele 1 se referă la soluțiile existente, iar 2 la cele noi, C este costul execuției, I valoarea investițiilor auxiliare necesare investiției, r rata anuală normativă de recuperare a investiției ($r = 0{,}15$ pentru termen de recuperare 7 ani [101]), A cota de amortizare, E_x cheltuieli anuale de exploatare, C_a cheltuieli de asimilare, E_s eficiența social-economică rezultată din soluția nouă.

Scanned with OKEN Scanner

b) **La nivelul unui beneficiar concret.** Efectul economic obținut prin exploatarea noii soluții de MARC la nivelul unui beneficiar concret va fi dat de relația

$$E_b = (R_1 + rI_{t_1}) - (P_2 + rI_{t_2}) + E_s \tag{5.6}$$

în care $P_1 = p_1 N_2$ și $P_2 = p_2 N_2$ (p reprezintă costul unitar al producției, și N_2 volumul producției anuale în cazul folosirii noi isoluții de MARC), [47], I_t sînt cheltuieli de investiții totale necesare pentru introducerea marcizării.

c) **Termenul de recuperarea a investiției.** Termenul de recuperare a investiției se calculează cu relația

$$T_r = \frac{I_{t_2} - I_{t_1}}{P_1 - P_2}. \tag{5.7}$$

Investiția și respectiv acțiunea de marcizare într-un caz concret este considerată rațională dacă termenul de recuperare nu depășește 7 ani și, bineînțeles, dacă sporul de producție obținut este corelat cu cerințele pieții.

În Franța, din experiența exploatării roboților rezultă că cheltuielile de investiții pentru construcția roboților sînt amortizate în 2÷5 ani de funcționare, mai ales dacă se realizează o exploatare neîntreruptă în 2—3 schimburi.

Calculul preliminar al duratei de recompensare se efectuează cu formula

$$P = \frac{C_r}{E_s - C_i \pm q(C_r + A)} \tag{5.8}$$

în care C_r este costul total al robotului, E_s economia anuală de salariu prin înlocuirea muncitorilor cu roboți, C_i costul anual pentru întreținerea robotului, $q(\%)$ coeficientul de care ține seama operatorul (arată în ce măsură robotul funcționează mai repede (+) sau mai încet (—), iar A cota de amortizare.

Pentru roboții de producție folosiți la operațiile de sudare cu arc evaluarea numărului de piese sudate pe zi de robot se face cu ajutorul unei formule rezultată din experiența practică

$$N = K\frac{T}{l} \tag{5.9}$$

în care T este timpul de sudură în minute pe schimb, l lungimea cordonului de sudură, K constanta ($K = 0{,}35$).

Scanned with OKEN Scanner

Perioada de amortizare în acest caz se estimează cu formula

$$P = \frac{I}{S} \text{ [ani]} \tag{5.10}$$

în care I este investiția inițială totală compusă din: costul robotului, costul sculelor și echipamentului, costul proiectării, costul aplicării produsului, costul calificării personalului și costul instalării, iar S economiile anuale care constau din: salarii, costuri sociale, costuri legate de factorul de automatizare precum și cheltuieli de producție cum ar fi întreținerea și consumul de energie.

În S.U.A., pentru efectuarea calculelor de rentabilitate a implementării unui robot industrial într-o linie tehnologică se ia în considerare următorul criteriu

$$I \leqslant 1{,}8\,L \tag{5.11}$$

în care L reprezintă economia anuală de costuri pentru manoperă, iar I investiția aferentă, determinată cu relația

$$I = \frac{L}{R + x + y} \tag{5.12}$$

în care R reprezintă rentabilitatea invesiției ($R = 0{,}2$), x cota de amortizare anuală (pentru 5 ani: $x = 0{,}2$), iar y — cota cheltuielilor de întreținere ($y = 0{,}15$).

Timpul de amortizare T se determină cu relația

$$T = \frac{C}{L - y} \quad (L > y) \tag{5.13}$$

în care C reprezintă costul robotului.

Calculul beneficiului (B) se face pe baza formulei:

$$B = K(L - y) \tag{5,14}$$

în care K reprezintă o constantă ce depinde de timpul de funcționare al robotului și de cel de amortizare.

Se observă faptul că în S.U.A. beneficiul de pe urma exploatării robotului se raportează în special la economiile rezultate din retribuția oamenilor eliberați din muncă.

Scanned with OKEN Scanner

În țara noastră, odată cu implementarea în producție a primului robot industrial (REMT 1) au fost inițiate și preocupările corespunzătoare pentru determinarea eficienței economice a asimilării, producerii și utilizării roboților industriali.

Determinarea eficienței economice a robotizării unei celule de fabricație la Intreprinderea „Electromotor" din Timișoara s-a făcut plecînd de la considerentul că întreprinderea este în același timp atît producător, cît și beneficiar al robotului industrial REMT 1. Ca bază de comparație s-a considerat un utilaj modern cu servire manuală de către 6 muncitori în 3 schimburi.

Celula de fabricație robotizată, condusă de un calculator de proces, este dotată cu 4 mașini-unelte (2 strunguri de copiat cu comenzi program secvențiale și 2 mașini de frezat). Ea prelucrează 8 tipuri de arbori de motoare electrice în diverse tipodimensiuni, pentru gabaritele 5—8, realizînd o producție de circa 900 bucăți în 3 schimburi.

Pentru calculul eficienței economice post-calculată s-au considerat în prima analiză următorii indicatori:

D_r — durata de recuperare a investiției pentru robotizare din economii și spor de beneficiu;

l_a — coeficientul eficienței anuale absolute a investiției;

C_{re} — cursul de revenire;

D_{ri} — durata de recuperare a investiției pentru robotizare din economii de valută realizate prin asimilarea în țară a robotului industrial.

Pentru condițiile normale de producție, valorile normative pentru indicatorii menționați mai sus în cazul construcției de mașini sînt: D_{rn} — 5 ani; $l_a = 0{,}2$; curs de revenire unic pentru elemente de MARC asemănătoare $C_{ru} = 28$ lei/dolar.

Eficiența economică post-calculată pentru condiții normale de producție s-a determinat cu următoarele formule

$$D_r = \frac{I_{t_n}}{E_{an} + B_{su}} = 4{,}08 < D_{rn} \qquad (5.15)$$

în care I_{t_n} reprezintă cheltuielile de investiții, E_{an} — cheltuielile de costuri complete comerciale prin reducerea manoperei, costurile cu retribuția etc.;

$$l_a = \frac{E_{an} + B_{sn} + P_{sn}}{I_{tn}} = 0{,}33 < 0{,}2 \qquad (5.61)$$

în care B_{su} reprezintă beneficiile suplimentare rezultate din producția suplimentară și calitatea superioară realizată prin robotizare, precum și producția suplimentară realizată în întreprinderea cu forța de muncă

Scanned with OKEN Scanner

eliberată prin robotizare, iar P_{sn} sînt acumulările suplimentare de venit net la bugetul de stat sub forma prelevării unei părți din producția netă.

Calculul de eficiență pe baza formulelelor (5,15), (5.16) a condus la concluzia că robotizarea REMT 1 este eficientă atît la nivelul întreprinderii, cît și la nivelul ramurii industriale.

Eficiența economică din punct de vedere al comerțului exterior s-a determinat în ipoteza în care robotizarea industrială s-ar fi realizat cu un robot de import cu performanțe similare, considerat la prețul de catalog $P_{cat} = 90\,000$ dolari. Prețul robotului REMT 1 fiind $P_{ri} = 1\,800\,000$ lei, rezultă cheltuielile suplimentare datorate importului E_{ri} și durata recuperării investițiilor D_{ri} după formula de calcul

$$D_{ri} = \frac{I_{in}}{E_{ri}} = \frac{I_{in}}{P_{val}C_{ru} - P_{ri}} = 3{,}5 \text{ ani} < D_{rn}. \qquad (5.17)$$

Calculul pe baza formulei de mai sus conduce la concluzia că robotizarea REMT 1 este eficientă și din punct de vedere al comerțului exterior.

Cu toate că folosirea roboților industriali este justificată din punct de vedere economic, iar țara noastră dispune de potențialul științific și tehnic necesar realizării lor, se constantă totuși un ritm relativ lent de implementare a acestora în producție.

Principial, o decizie definitivă privind introducerea unui robot industrial este posibilă numai pe baza unui calcul de eficiență economică în cadrul căruia se compară costurile de fabricație în condițiile folosirii muncii manuale existente înainte de robotizare cu cele aferente automatizării.

Rezultă că accelerarea într-un ritm foarte rapid a implementării roboților în tehnologiile actuale de fabricație ar putea fi posibilă în ipoteza în care s-ar dispune de roboți din generații superioare (ce pot efectua operații umanoide complexe), iar costurile acestora ar fi competitive în raport de costurile realizate în condițiile manuale existente la nivelul întregului compartiment de producție supus robotizării.

Cercetările întreprinse, în acest domeniu, în țara noastră atestă faptul că implementarea roboților pe scară largă întîmpină unele greutăți datorită incompatibilității roboților din generația actuală [21] cu:

— gradul de mecanizare și automatizare a proceselor tehnologice existente, sistemul de organizare al producției și de amplasare a utilajelor;

— concepția și modul de execuție al controlului;

— lipsa unor instalații de transport adecvate, ca sistem și grad de automatizare etc.

Scanned with OKEN Scanner

Ca urmare, strategia implementării roboților industriali trebuie departajată cel puțin în două situații distincte:

a) implementarea de roboți în cadrul proceselor tehnologice existente, care trebuie făcută numai acolo unde sînt îndeplinite condiții complementare impuse de robotizare (nivel tehnic și organizatoric compatibil gradului de automatizare și de flexibilitate a întregului compartiment de producție supus robotizării) sau a acelora în care aceste condiții complementare pot fi create prin adaptare cu eforturi și riscuri tehnico-economice minime;

b) automatizarea și robotizarea proceselor tehnologice noi proiectate trebuie să fie realizată în cadrul unei strategii generale pe baza aplicării practice a principiului teoretic al sistemului [23], care asigură legarea într-un ciclu unic a reproiectării produselor și asimilării produselor noi, a reorganizării tehnologice a fabricației, a ridicării calității și automatizării proceselor de producție. Se înțelege că trebuie procedat întotdeauna la evaluarea flexibilității și eficienței economice încă din faza de concepție și proiectare.

În R. F. Germania, cercetările efectuate privind implementarea roboților industriali, au condus la concluzia că în numeroase cazuri, folosind un număr relativ redus de criterii de decizie, pot fi apreciate posibilitățile și șansele de succes ale folosirii acestora în condițiile aplicării unei metodologii adecvate.

Diferite etape de aplicare a acestei metodologii sînt redate în schema prezentată în fig. 5.1.

La început se face o analiză globală, colectîndu-se toate datele principale cu caracter tehnic, economic, social, privind locurile de muncă respective. În această etapă cercetarea nu se limitează numai la analiza individuală a

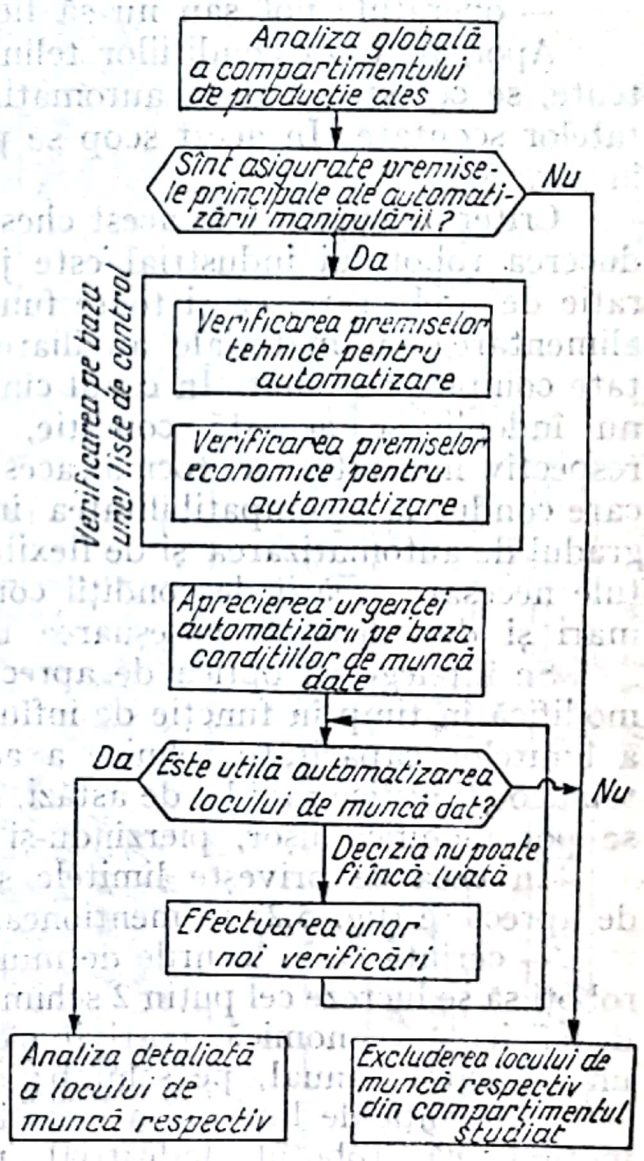


Fig. 5.1. Desfășurarea alegerii locurilor de muncă adecvate pentru automatizare.

Scanned with OKEN Scanner

unor locuri de muncă, ci trebuie să cuprindă, în funcție de procedeul tehnologic sau sortimentul de piese, întregul compartiment de producție unde se realizează fabricația. O astfel de analiză se impune pentru a ne asigura că măsurile de automatizare sînt introduse în primul rînd acolo unde ele sînt mai urgente, din motive economice sau sociale. După caz, pot fi luate măsuri de modificare a întregului flux de piese sau de organizare a fabricației care permit stabilirea sarcinilor de automatizare.

Pe baza rezultatelor analizei, trebuie mai întîi verificat dacă la fiecare loc de muncă sînt asigurate următoarele trei premise ale automatizării proceselor de fabricație:

— activitatea la locul de muncă cuprinde sau nu funcții de manipulare;

— operațiile pot sau nu să fie clar definite în orice moment.

Apoi, pe baza condițiilor tehnice și economico-organizatorice existente, se cercetează dacă automatizarea poate asigura obținerea rezultatelor scontate. În acest scop se propune [110] chestionarul prezentat în fig. 5.2.

Criteriile cuprinse în acest chestionar se bazează pe faptul că introducerea robotului industrial este justificată numai cînd *întreaga* operație de prelucrare, ca și toate funcțiile auxiliare permanente (control, alimentarea cu materiale auxiliare, evacuarea deșeurilor) sînt executate complet automat. În cazul cînd mijloacele de fabricație respective nu îndeplinesc această condiție, ele trebuie automatizate ulterior, respectiv înlocuite. Or, tocmai acestea sînt situațiile cele mai frevcente care conduc la incompatibilitatea implementării roboților industriali cu gradul de automatizarea și de flexibilitate ale întregului sistem. Investițiile necesare creării de condiții complementare sînt, în general, foarte mari și duc deoseori la eșuarea introducerii roboților în producție.

Se înțelege că optica de apreciere a utilității folosirii roboților se modifică în timp în funcție de influența exercitată de variația continuă a limitelor capacității tehnice a acestora. Astfel, datorită dezvoltării tehnico-științifice rapide, de astăzi, limitele de cuprindere a unor criterii se pot modifica ușor, pierzîndu-și cu ușurință valabilitatea în timp.

În ceea ce privește limitele stabilite pentru criteriile economice de apreciere (fig. 5.2) se menționează următoarele:

— cerința ca la locurile de muncă în care urmează să se introducă roboți să se lucreze cel puțin 2 schimburi zilnice se bazează pe o apreciere de eficiență economică, potrivit căreia un robot industrial înlocuiește un muncitor, anual, pe schimb;

— cerința de limitare a capacității de reechipare este dedusă din ipoteza că robotul industrial nu lucrează mai repede decît omul. Valoarea limită prevăzută de cel mult o reechipare pe schimb

Scanned with OKEN Scanner

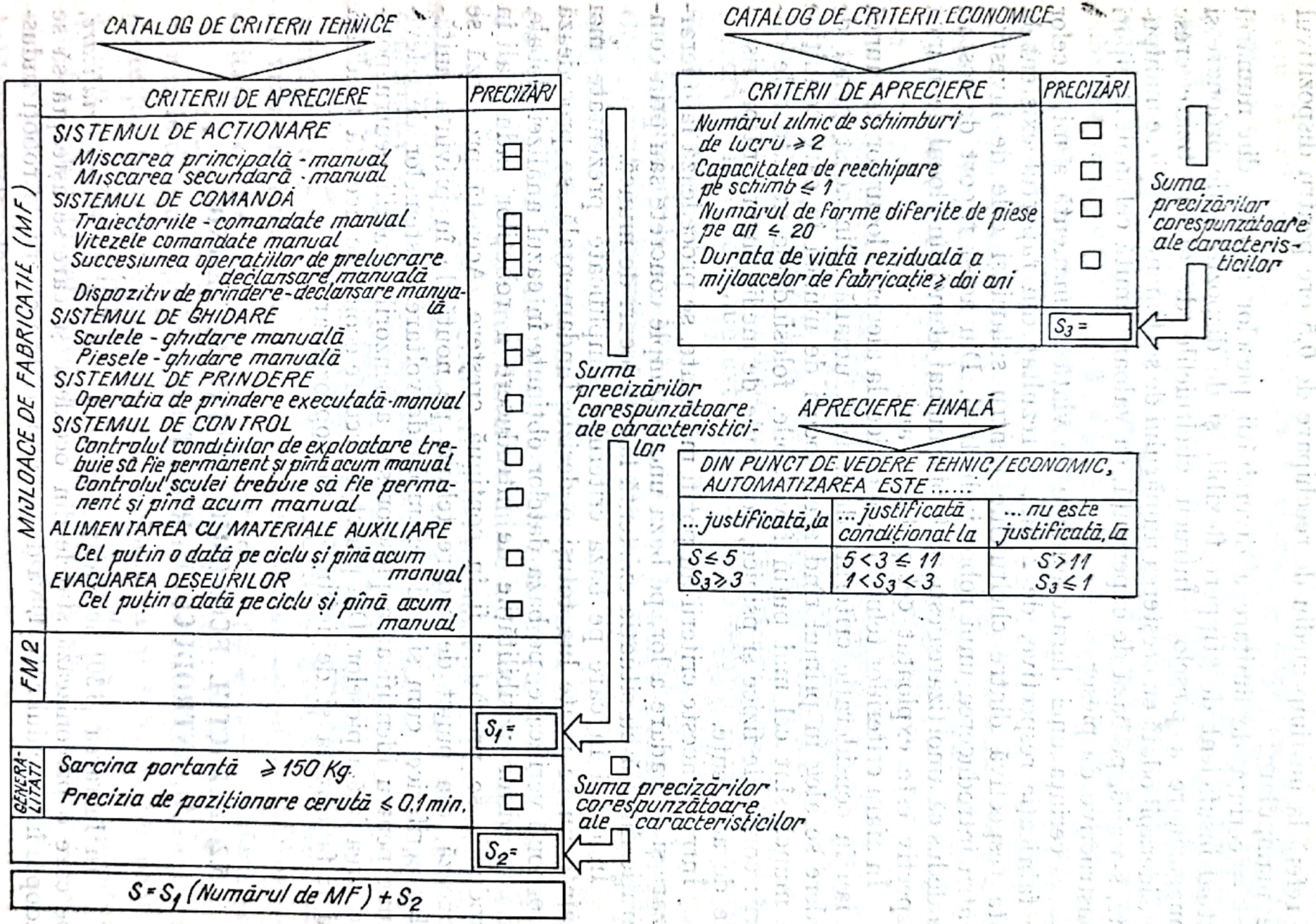


Fig. 5.2. Metodă de evaluare a rezultatelor automatizării.

se referă la un timp mediu de reechipare de 0,5 ore pentru dispozitivul de manipulare;

— cerința de limitare a diversității pieselor rezultă din numărul actual insuficient de grippere flexibile și de dispozitive de ordonare și înmagazinare a pieselor. Întrucît cheltuielile de automatizare cresc considerabil odată cu creșterea numărului de sortimente de piese manipulate, s-a ales, pe bază de experiență, ca valoare limită cel mult 20 tipuri constructive de piese;

— cerința unei durate minime de viață permanentă a mijloacelor de fabricație respective, de 2 ani, a rezultat din raportul existent la data respectivă dintre cheltuielile pentru salarii și cele de investiții pentru introducerea unui robot industrial. Din acest raport de costuri s-a dedus că amortizarea este rentabilă numai atunci cînd locul de muncă respectiv este exploatat cel puțin 2 ani.

În afara criteriilor tehnico-economice, la alegerea locurilor de muncă se iau în considerație criteriile de natură umană. Din acest punct de vedere se aleg în primul rînd acele locuri de muncă în care condițiile de muncă sînt cel mai puțin favorabile, folosindu-se următoarele criterii: condițiile fizice și psihice, condițiile de mediu înconjurător, riscurile de accidente.

Întrucît aceste criterii nu pot fi măsurate, se procedează la o ierarhizare și o gradare a lor, pe baza unor exemple concrete sau prin comparație directă cu situația existentă la alte locuri de muncă.

În cazul în care pe baza criteriilor simplificate prezentate mai înainte nu se poate lua totuși o decizie fundamentală, se procedează la o nouă verificare, pe baza datelor obținute în cazul analizei globale.

În viitor posibilitățile de introducere a roboților industriali în producție se prevăd a fi în continuă creștere. Această prognoză se bazează, din punct de vedere tehnic, pe noutățile în privința unităților periferice, cum sînt de exemplu dezvoltarea sistemelor de televiziune pentru identificarea pieselor sau a senzorilor tactili pentru poziționarea fină a pieselor. Din punct de vedere economic această tendință va fi favorizată și de ieftinirea microprocesoarelor.

5.2. IMPACTUL ECONOMIC, SOCIAL ȘI TEHNIC AL INTRODUCERII ROBOȚILOR

În lucrarea [130] se menționează că politica de *reindustrializare*, pe care o preconizează statele din occident și care se așteaptă să se adopte în deceniul actual, va da un avînt enorm cererii de roboți indus-

Scanned with OKEN Scanner

triali. La sfîrșitul actualului deceniu cea mai mare parte a dezvoltării tehnice majore va fi realizată cu utilizarea considerabilă a roboților industriali. Aceștia vor progresa în performanțe ca miniaturizare, viteză înaltă, construcție modulară, tehnologie de percepție pentru poziție, formă, culoare etc. Conceperea roboților industriali din generația a doua, cu funcții complexe, va permite multiplicarea fabricării roboților industriali utilizați pentru control și ridicarea calității.

Efectele robotizării proceselor industriale sînt determinate în special de următoarele trăsături speciale ale roboților industriali:

— capacitatea roboților evoluați de a putea, în mod liber, să contribuie la modificarea acțiunii. Dacă un robot este programat pentru modificarea acțiunii repetitive, el realizează diferitele acțiuni așa cum s-a cerut;

— posibilitatea roboților de a lucra automat, în mod continuu, mult timp peste stadiul care depășește limitele umane fizice și psihice, fără a necesita un mediu de muncă confortabil; (v. § 9.3.2).

— însușirea de a nu obosi, a nu se plictisi sau de a se enerva și de a lucra în mod continuu extrem de exact și de precis în conformitate cu programul dat.

Pornind de la aceste trsăsături speciale se evidențiază următoarele efecte oferite de introducerea roboților industriali, efecte sintetizate în tabelul 5.1:

— posibilitatea inițierii producției automate de serie mică și a ciclurilor automate ale produselor din serii medii și mari (v. cap. 8 și 9), ca și automatizarea fluxurilor mixte ale proceselor de producție;

— posibilitatea de schimbare ușoară a modelului. Pentru o mașină specială cu program este necesar să se reamplaseze sau să se modifice constructiv mașina în cazul schimbării modelului, ceea ce provoacă implicit modificări importante de costuri și de timp;

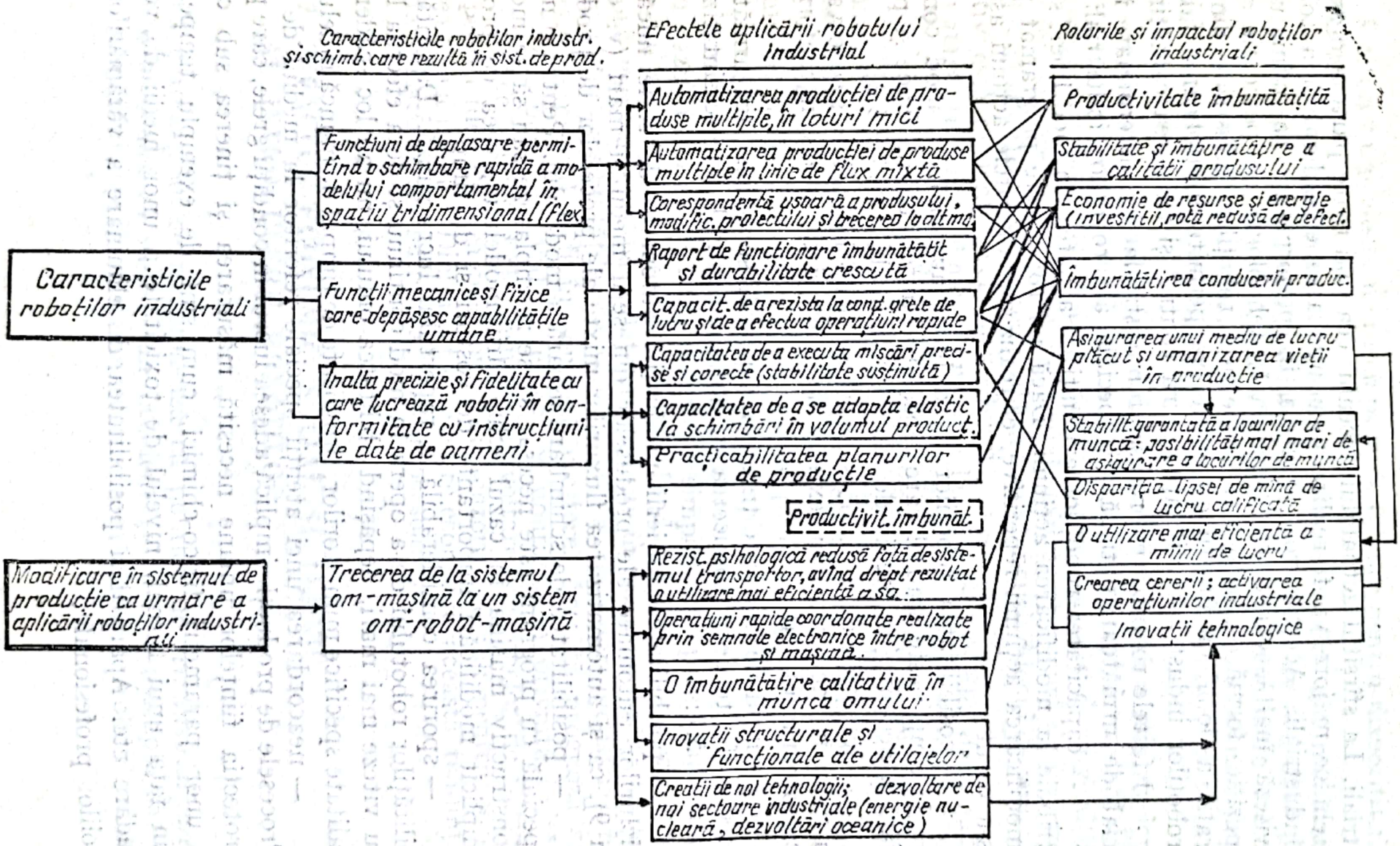
— sporirea considerabilă a raportului lucru/pauză. Datorită posibilităților robotului de a opera în mod continuu și de a efectua lucrări cu viteze mai mari, depășind abilitatea omului, nu au loc scăderile de calitate specifice muncitorilor, provocate de timpul de muncă îndelungat;

— neacordarea unei atenții speciale referitor la mediul de lucru. Procesele de producție implică adesea lucrul în condiții grele, care pentru protecția ființelor umane necesită măsurarea și ținerea sub control a unor parametri fizico-chimici, cum sînt de exemplu temperatura din fața unui furnal, nivelul de toxicitate a unor medii de vopsire, sudare etc. Apare deci posibilitatea de eliminare a vătămărilor și a bolilor profesionale;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 5.1

Impactul introducerii roboților



— îndeplinirea mai ușoară a controlului producției, datorită continuității exacte a muncii roboților. Introducerea roboților industriali este în măsură să suplinească mai bine căderile de producție ce survin în cursul perioadelor de plan sau tendințele de algomerare dinspre sfîrșitul acestor perioade, sau să evite aglomerările de stocuri de materiale excesive pentru întreținerea producției curente și să le mențină la nivelele costante;

— eliberarea ființelor umane de lucrul în condiții grele sau de muncile repetative și transferarea lor pentru a lucra la construirea sau întreținerea roboților industriali. În acest mod oamenii avansează pe trepte de calificare mai înalte;

— creșterea posibilităților de angajare nu numai a oamenilor apți pentru domeniul producției, ci și a oamenilor mai în vîrstă, a celor handicapați fizic sau a femeilor în diverse compartimente cu un grad redus de dificultate;

— realizarea unei economii de energie prin economia de investiții industriale și echipamente, precum și reducerea consumurilor specifice a unor materii prime și materiale prin înlocuirea unor operații efectuate de om prin operații automate, continue, de stabilizare. De exemplu, în cadrul vopsitoriei se știe că există o tendință generală de vopsire în straturi groase, dacă aceasta este făcută de oameni, în timp ce prin introducerea roboților industriali această tendință se elimină, economisindu-se 20—30% din materiale.

Variația costului investițiilor pentru introducerea roboților industriali într-o întreprindere poate avea loc în ambele sensuri. Pe de o parte, ea poate grăbi demodarea mașinilor existente constituind un factor de sporire a costurilor de investiții; pe de altă parte, există factori de reducere a costurilor de investiții pentru întreprindere și echipament, din cauza anulării unor investiții care ar fi trebuit făcute pentru sporirea capacității întreprinderii prin operații continue de zi și noapte, pentru reamplasarea mașinilor în momentul schimbării modelului etc.

Prin accentuarea progresului tehnic în domeniul roboților industriali, pe măsură ce aceștia devin mai ușori și mai mici crește și eficiența utilizării spațiului în întreprinderi. Roboții pot fi amplasați atît la nivelul pardoselii, cît și la altitudine, la nivelele apropiate de tavan.

Apariția noilor industrii va fi grăbită de inovarea tehnologică datorită roboților industriali. De exemplu, tehnicile de conducere a roboților vor fi aplicate și la alte mașini, permițînd dezvoltarea unor activități în condiții dificile cum sînt cele subacvatice, conducerea unor operații în condiții de radiații în cadrul centralelor nucleare etc.

Scanned with OKEN Scanner

5.3. CONCLUZII

Din cele prezentate în cap. 5 rezultă că pe plan mondial nu există o metodologie unitară de analiză şi cuantificare a tuturor categoriilor de efecte (informaţional-ştiinţifice, sociale, ecologice etc.), care — alături de efectele economice — ar crea o imagine completă, complexă şi unitară a eficienţei economice.

Există de asemenea, numeroase cazuri cînd marcizarea unor domenii ale economiei (medicină, protecţia muncii, învăţămîntul, cercetare ştiinţifică), nu permite o cuantificare directă a efectelor economice, creînd impresia eronată de ineficienţă economică, omiţîndu-se astfel scopul final al întregii activităţi economice de creştere a standardului de viaţă în general, protecţia mediului înconjurător precum şi alţi factori care concură la asigurarea unei calităţi ridicate a vieţii.

Întrucît implementarea roboţilor în industrie se justifică numai în cazul automatizării complete a operaţiei de prelucrare supusă robotizării (după caz, chiar şi a întregii linii de fabricaţie aferente), se impune o selectare judicioasă a locurilor de muncă respective, pe baza unor criterii corespunzătoare unei strategii prestabilite pentru două situaţii distincte:

a) implementarea roboţilor în cadrul tehnologiilor cnvenţionale deja existente în exploatare (alegerea selectivă a locurilor de muncă în funcţie de timpul de amortizare a investiţiilor pentru marcizare, încadrat în limite admisibile, grad de nocivitate etc.);

b) robotizarea proceselor tehnologice în curs de proiectare.

În toate cazurile trebuie, de asemenea, căutat răspunsul la două întrebări; care tip de robot şi în ce configuraţie trebuie folosit pentru o aplicaţie dată?; care este metoda optimă de execuţie a unei sarcini industriale pentru un robot dat? (v. § 9.3).

Scanned with OKEN Scanner

B. ELEMENTE PRIVIND DINAMICA AUTOMATIZĂRII INDUSTRIALE ȘI A CREȘTERII PERFORMANȚELOR DE FLEXIBILITATE ȘI DE PROGRES TEHNOLOGIC

Capitolul 6

FLEXIBILITATEA ȘI PROGRESUL TEHNOLOGIC

6.1. PRODUCTIVITATEA, O CERINȚĂ FUNDAMENTALĂ A PRODUCȚIEI INDUSTRIALE

Dezvoltatea economico-socială în perspectiva celei de-a doua revoluții industriale preocupă în cel mai înalt grad oamenii de știință atît din țările socialiste cît și din cele capitaliste.

Important în acest sens este nivelul tehnico-științific propriu fiecărei țări. Astfel, este cunoscut că state cum sînt S.U.A., Japonia și unele țări vest-europene sînt mult mai avansate și mai pregătite din punct de vedere științific și tehnologic pentru trecerea la această nouă etapă revoluționară a industriei cu largi implicații economico-sociale pentru societatea contemporană.

Țara noastră, trecînd la dezvoltarea unei economii socialiste planificate, pe criterii intensive, este deosebit de receptivă la promovarea progresului tehnic, propunîndu-și ca, în industrie, productivitatea muncii (determinată pe baza producției marfă) să crească într-un ritm mediu anual de 10 la sută, asigurîndu-se dublarea acesteia în 1990, față de 1980. Ponderea producției industriale realizată în sistemele automatizate și mecanizate urmează a se ridica la 70 la sută în anul 1987- și la peste 90 la sută la sfîrșitul cincinalului 1986—1990.

Scanned with OKEN Scanner

Productivitatea muncii, ca principal indicator al eficienței economice, poate deveni la un moment dat un element hotărîtor pentru viitorul socialismului.

Marx și Lenin condiționau făurirea unei noi societăți de capacitatea economiei socialiste de a-și dovedi în practică superioritatea față de economia capitalistă.

În acest sens, pentru țările socialiste rămîne pe deplin actuală și astăzi teza lui Lenin din 1919, din „Marea inițiativă", privitoare la afirmarea superiorității societății socialiste printr-o nouă și mult mai înaltă productivitate a muncii față de tot ce a creat capitalismul de-a lungul existenței sale.

Prin urmare, criteriul fundamental al noii revoluții industriale îl constituie în primul rînd *creșterea accentuată a productivității muncii în industrie, productivitatea generală a muncii membrilor societății și eficiența economico-socială.*

De acest adevăr sînt conștiente atît țările socialiste, cît și cele capitaliste.

Într-un articol apărut în revista americană „Business Week" din 9 iunie 1980, Philipe Villers, președintele firmei Automatix, una dintre cele mai recente firme americane producătoare de roboți industriali, menționează că este conștient de faptul că sporirea productivității este o chestiune de viață și de moarte pentru oricare stat din lumea contemporană.

Din examinarea sectoarelor mari ale economiei naționale a țărilor industrializate rezultă că productivitatea cea mai ridicată o deține în prezent fabricația *continuă* și *semicontinuă* (industria chimică, metalurgică etc.) și producția *„discretă" de masă.* Explicația creșterii productivității în aceste sectoare se datorează posibilităților de aplicare a metodelor de *automatizare clasică* într-un grad mult mai avansat decît în cazul producției în loturi (serie mică, serie mijlocie, inclusiv unicate).

Pentru a sublinia importanța acestei concluzii este suficient să arătăm că raportul între industria „discretă" de masă și industria în loturi, în țări dezvoltate cum este S.U.A. este de 65% producție discretă de masă și 35% producție în loturi. Productivitatea mai scăzută în producția de loturi rezultă și din faptul că în acest sector lucrează peste 50% dintre lucrători.

Analizînd aceeași situație numai în domeniul prelucrării metalului, ca parte distinctă a industriei „discrete", tot într-o țară industrializată ca S.U.A., se constată că 75% dintre piese se fabrică în loturi și numai 25% în masă. În țări mai puțin dezvoltate, cu o tehnică inferioară, situația poate fi și mai defavorabilă producției pe loturi.

Scanned with OKEN Scanner

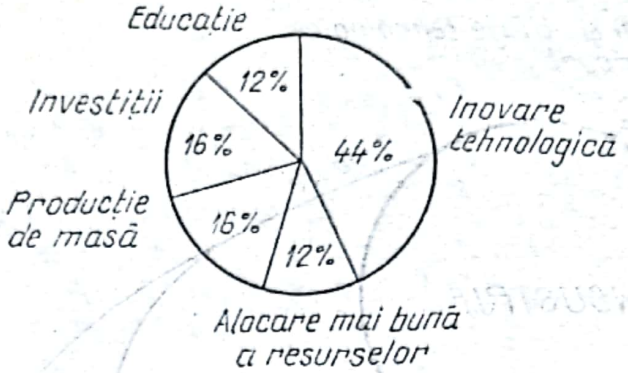


Fig. 6.1. Surse de creștere a productivității muncii în S.U.A.

Complexitatea rezolvării problemei productivității muncii pentru producția de loturi în țara noastră derivă din numărul impresionant de mare al reperelor din această categorie, care se estimează a fi numai în construcția de mașini de cca. un miliard de tipodimensiuni [13].

Reușita rezolvării acestei probleme depinde în cele din urmă de *creșterea flexibilității* mașinilor de producție și a sistemelor de fabricație, de implementarea în structura lor a microelectronicii, a utilizării roboților industriali, de folosirea pe un plan mai larg a inteligenței artificiale și — nu în ultimul rînd — de conducerea, organizarea și structurarea sectoarelor de producție și a producției ca atare.

Stadiul dezvoltării tehnice românești actuale a atins nivelul necesar pentru a permite ca *inovarea tehnologică* proprie să devină *elementul propulsor* al creșterii economice generale.

O evoluție asemănătoare a fost înregistrată în țări ca S.U.A. și Japonia, a căror dezvoltare industrială s-a bazat inițial pe *transfer masiv de tehnologie* fără un efort propriu semnificativ. Ulterior, însă, inovarea tehnologică proprie a devenit elementul preponderent al creșterii productivității muncii. Din fig. 6.1 rezultă că în S.U.A., la un anumit moment, ponderea atinsă de aportul inovării tehnologice în raport cu toate celelalte surse de creștere a atins 44%.

În concluzie, rezultă că la nivelul dezvoltării tehnicii actuale, domeniul cel mai deficitar privind creșterea productivității muncii, în raport de care trebuie stabilită o strategie a dezvoltării, reprezintă producția discretă pe loturi și, în primul rînd, fabricația pieselor metalice.

Un model strategic de dezvoltare industrială bazat pe rolul inovării tehnologice ca factor preponderent al creșterii productivității muncii aplicat și în țara noastră este redat în fig. 6.2.

Scanned with OKEN Scanner

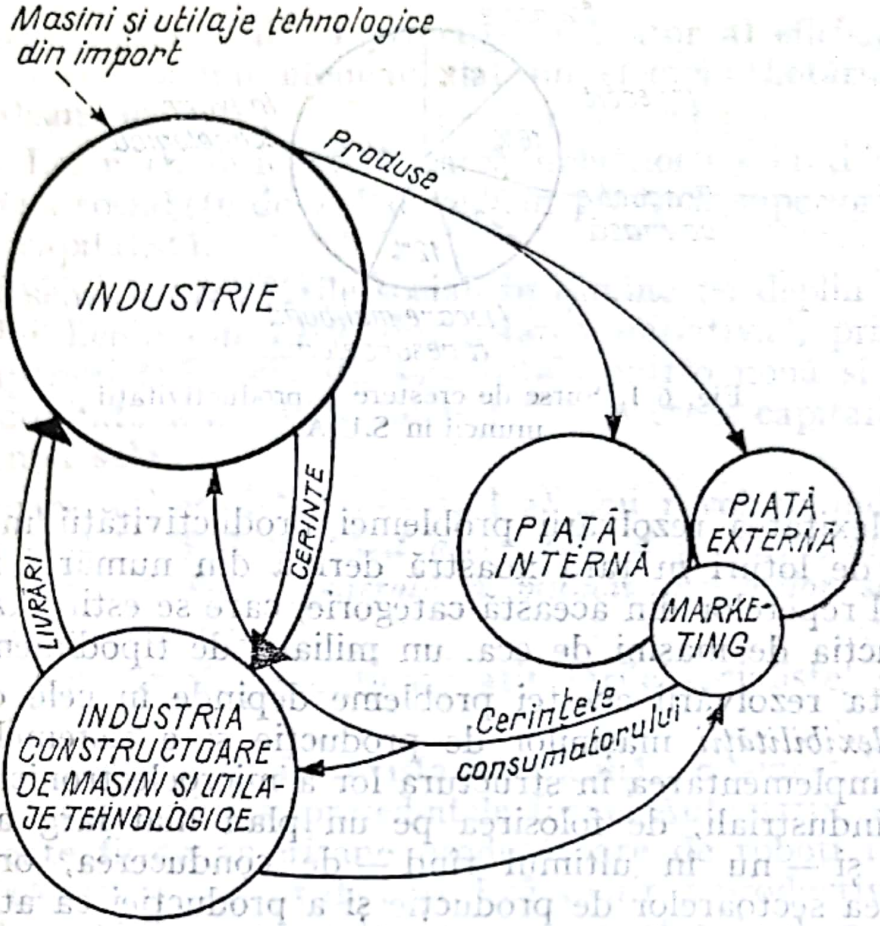


Fig. 6.2. Model strategic de dezvoltare industrială.

Din analiza conexiunilor cibernetice prezentate în acest model rezultă importanța realizării unei bucle cibernetice de tipul *industria constructoare de mașini și utilaje tehnologice* ⇄ *industrie*. Fără o astfel de corelație efortul de inovare tehnologică este în cele din urmă frînat [40]. Dealtfel, la scară mondială, cu cît indicele de creștere al produsului social a fost mai mare cu atît s-a înregistrat un indice superior de creștere a producției industriei constructoare de mașini față de cel al ansamblului producției industriale. [24].

Pentru ca un sistem economic bazat pe un astfel de model de dezvoltare să fie echilibrat se impune ca, pe ansamblu, valoarea importurilor să oscileze în jurul valorii exporturilor. În consecință, dezvoltarea diferitelor ramuri industriale trebuie să se raporteze atît la baza de resurse proprii, cît și la posibilitățile de asigurare a piețelor de desfacere. În orice situație însă, rolul inovării tehnologice în dezvoltarea întregului sistem economic rămîne prioritar.

În acest context, dacă ne referim la subramura mașinilor-unelte pentru prelucrarea loturilor mici și mijlocii, cu indici de productivitate ridicați, în țara noastră s-a înregistrat un progres în sensul că dezvol-

Scanned with OKEN Scanner

tările tehnologice ne-au adus în rîndul țărilor producătoare, fără însă a avea, deocamdată, un rol conducător în ierarhia de astfel de mijloace de producție. Ritmul de dezvoltare în această direcție a fost încetinit și de importul temporar al unor componente din domeniul automatizării de vîrf, care n-au putut fi realizate cu potențialul intern simultan cu fabricarea mașinilor-unelte respective. În același timp, recuperările în ritm rapid a rămînerilor în urmă, pe care istoricește țara noastră le-a înregistrat, a făcut ca activitatea de cercetare să fie axată, într-o primă etapă, în special pe realizarea de noi produse și mai puțin pe aspectele calitative ale producției.

Forțele de concepție grupate în Institutul de cercetare științifică și inginerie tehnologică pentru mașini-unelte sînt ocupate în prezent atît cu cercetarea științifică de bază, cît și cu dezvoltarea tehnologică a familiilor de mașini-unelte concepute în cadrul activității de cercetare de bază și a sistemelor flexibile de prelucrare.

Deși nivelul productivității a crescut mult în raport cu anii precedenți, se preconizează că el trebuie să crească în continuare prin introducerea mașinilor-unelte automatizate, a sistemelor flexibile de mașini-unelte și a robotizării.

În aceste condiții, se preconizează desfășurarea în continuare a activității de dezvoltare tehnologică, pe un front mai larg, în cadrul întreprinderilor, spre a extinde cercetările aplicative de bază în institutul de specialitate.

Fabricarea, în țară, pe bază de concepții proprii a unui număr din ce în ce mai mare și mai diversificat de mașini-unelte poate marca un impact economic sub următoarele aspecte:

— creșterea produsului social și venitului național;

— dotarea întreprinderilor cu utilaje și linii tehnologice fabricate în țară, cu echipamente de automatizare care le asigură funcționalitatea și performanțele tehnice;

— reducerea importului de utilaje de acest fel, cu excepția unor aplicații cu caracter special;

— creșterea exportului pe măsura creșterii calității și fiabilității la nivelul concurenței statelor dezvoltate.

Dezvoltarea industriei de mașini-unelte pentru prelucrarea metalelor implică o influență pozitivă deosebită asupra întregii economii naționale atît din punct de vedere al creșterii eficienței producției industriale — prin creșterea productivității muncii cu precădere în domeniul seriilor mici și mijlocii de fabricație, cît și asupra mediului economic în general, datorită posibilităților de a produce un număr suficient de bunuri materiale pentru întreaga societate.

Scanned with OKEN Scanner

Impactul social al acestei dezvoltări se manifestă prin îmbunătățirea condițiilor de lucru, ca urmare a automatizării și robotizării, precum și a creșterii nivelului de cunoștințe profesionale și culturale.

Creșterea capacității de prelucrare a sistemelor tehnice automate, ca și calitatea produselor fabricate în industria constructoare de mașini și utilaje tehnologice, necesită o analiză sistematică și științifică fundamentată a tuturor factorilor care determină și influențează creșterea producției în unitatea de timp.

6.2. STUDIUL CAPACITĂȚII DE PRELUCRARE A SISTEMELOR TEHNICE AUTOMATE

În analiza unor aspecte teoretice și practice referitoare la capacitatea de prelucrare a mașinilor automate se va folosi conceptul uzual de productivitate, iar prin mașini se va înțelege în continuare, mașinile și utilajele semiautomate și automate precum și liniile automate de flux.

6.2.1. ELEMENTE DE FUNDAMENTARE A TEORIEI PRODUCTIVITĂȚII

Mașinile sînt apreciate după criteriile calității și cantității produselor prelucrate în unitatea de timp, avînd ca obiectiv asigurarea unei productivități ridicate și a unei fiabilități sporite.

La analiza și aprecierea productivității mașinilor trebuie luate în considerare, printre altele, următoarele considerații [127]:

— în cadrul unui ciclu de lucru al mașinii se consideră consumat în mod productiv numai acel timp care este necesar pentru procesul de prelucrare, celelalte categorii de timp, inclusiv timpul necesar pentru mișcările auxiliare (mers în gol) și întreruperile din afara ciclului, fiind considerate pierderi, deoarece se consumă în mod neproductiv;

— se consideră o mașină ideală aceea mașină la care nu apar mersuri în gol și întreruperi, în condițiile unei productivități și calități ridicate. Este vorba deci despre o mașină cu activitate continuă, cu o durată de viață nelimitată și cu fiabilitate absolută;

— fabricarea oricăror produse se realizează cu cheltuieli de muncă materializate prin achiziționarea mijloacelor de producție și pentru menținerea funcționării lor, ca și cheltuieli de muncă vie pentru deservirea nemijlocită a mașinilor;

Scanned with OKEN Scanner

— legitatea dezvoltării tehnicii constă în aceea că mărimea specifică a muncii trecute crește continuu, în timp ce reducerea consumului total de muncă pe unitatea de produs, cheltuielile de muncă vie scad.

Ciclul de lucru al mașinii reprezintă un indicator important pentru calculul productivității. În marea lor majoritate, mașinile au un regim de lucru ciclic, în sensul repetării periodice a unor anumite mișcări. În funcționarea unor astfel de mașini se poate stabili o anumită succesiune a mișcărilor și elementelor active de lucru, precum și a mișcărilor auxiliare.

6.2.2. CICLUL DE LUCRU AL UNEI MAȘINI

Ciclul de lucru al unei mașini se caracterizează prin faptul că operația propriu-zisă este precedată, în timpul t_{l_1}, de mișcări auxiliare de apropiere (mers în gol), după care urmează timpul t_a (timpul de acționare sau de operație), urmat apoi din nou de mișcări (de retragere și repaus) în timpul t_{l_2}. Dacă mașina funcționează fără perturbări, aceeași operație se repetă, în general, în același interval de timp, denumit ciclu de lucru T_a.

Ca urmare, un ciclu de lucru se compune din

$$T_a = t_{l_1} + t_a + t_{l_2} = t_a + t_l. \tag{6.1}$$

Se menționează că prin operații se înțeleg mișcările care acționează tehnologic nemijlocit asupra piesei prelucrate, iar prin mersul în gol se înțeleg mișcările auxiliare, necesare pentru pregătirea și încheierea prelucrării.

În practică, ciclul de lucru nu are întotdeauna această formă simplă, întrucît deseori trebuie luate în considerare, în funcție de construcția mașinii, și ciclul tehnologic (T_t), precum și ciclul cinematic (timpul de tact T_c).

Caracteristic este faptul că, în general, în cadrul unui ciclu de lucru un mecanism funcționează numai o dată. Coordonarea reciprocă și succesiunea logică a mișcărilor tuturor elementelor sînt reprezentate grafic printr-o ciclogramă sau o diagramă a mașinii.

Categoriile de productivitate și relațiile lor reciproce. Prin productivitatea unei mașini se va înțelege cantitatea de produse prelucrate într-un timp determinat.

Cantitatea de produse prelucrate poate fi exprimată în dimensiuni diferite în raport de destinație și modul de prelucrare, ca de exemplu bucăți, masă, volum etc.

Scanned with OKEN Scanner

6.2.3. PRODUCTIVITATEA TEHNOLOGICĂ (Q_{teh})

La un proces tehnologic continuu, care asigură cea mai mare productivitate, în formula (6.1), $t_l = 0$ și deci $T_a = t_a$.

Dacă în fiecare ciclu de lucru se prelucrează un produs, atunci se obține productivitatea tehnologică

$$Q_{teh} = 1/t_a. \tag{6.2}$$

Se înțelege că dacă în aceeași perioadă de timp se produc p produse (la conectarea în paralel a stațiilor de lucru), atunci se obține:

$$Q_{teh} = p/t_a. \tag{6.3}$$

Prin umare, productivitatea tehnologică reprezintă o productivitate ideală, calculată fără luarea în considerare a pierderilor de timp ciclice și din afara ciclului.

Productivitatea tehnologică depinde de piesa supusă prelucrării, de procesul tehnologic și de parametrii de lucru. Din valoarea calculată a productivității tehnologice rezultă pentru ce productivitate maximă poate fi proiectată mașina.

Dacă, de exemplu, timpul minim pentru operație este condiționat $t_a = 1/60$ min/buc., atunci proiectarea unei mașini cu o productivitate tehnologică mai mare de $Q_{teh} = 60$ buc./min nu este posibilă.

6.2.4. PRODUCTIVITATEA TEORETICĂ (Q_t)

Dacă în perioada ciclului de lucru T_a, mașina realizează un produs, atunci productivitatea tehnologică este numită și productivitate teoretică sau ciclică

$$Q_t = \frac{1}{T_a} = \frac{1}{t_a + t_l} = n. \tag{6.4}$$

În cazul fabricării a p produse în aceeași perioadă

$$Q_t = \frac{p}{T_a} = pn \tag{6.5}$$

n care n este turația arborelui de programare (comandă).

Productivitatea teoretică Q_t reprezintă o caracteristică fundamentală a mașinii, care depinde de principiul constructiv al acesteia, de numărul de produse prelucrate concomitent, de viteza de prelucrare și de gradul de îmbinare a operațiilor.

În majoritatea cazurilor ea este prevăzută în documentația tehnică a mașinii.

Scanned with OKEN Scanner

6.2.5. CORELAȚIILE DINTRE PRODUCTIVITATEA TEHNOLOGICĂ ȘI CEA TEORETICĂ

Productivitatea teoretică a mașinii la procesele tehnologice discontinue este întotdeauna mai mică decît cea tehnologică, după cum rezultă din formulele (6.4) și (6.2)

$$Q_t = \frac{1}{t_a + t_l} = \frac{1}{1/Q_{teh} + t_l} = Q_{teh} \frac{1}{Q_{teh} t_l + 1} = Q_{teh} \eta_{con}. \qquad (6.6)$$

Rezultă că productivitatea teoretică a mașinii reprezintă produsul dintre Q_{teh} și *coeficientul de continuitate* η_{con} (vezi formulele (6.4) și (6.2)).

Acest coeficient de continuitate, denumit și *coeficient de productivitate*, are valoarea

$$\eta_{con} = \frac{1}{Q_{teh} t_l + 1} = \frac{Q_t}{Q_{teh}} = \frac{t_a}{T_a} \qquad (6.7)$$

și caracterizează *gradul de folosire a productivității tehnologice* și deci gradul de continuitate al prelucrării în procesul tehnologic.

Așa, de exemplu, dacă $\eta_{con} = 0{,}7$ atunci, în cadrul unui ciclu de lucru, 70% din timp a revenit operațiilor și 30% mersului în gol și deci sînt utilizate numai 70% din posibilitățile procesului tehnologic.

Rezultă că η_{con} reprezintă un *criteriu de evaluare* a folosirii intensive a performanțelor constructive și funcționale ale mașinii. El indică în acest fel gradul de apropiere a mașinii respective de soluția tehnică ideală, adică mașina cu activitate operațională continuă.

Coeficientul de continuitate depinde concomitent de indicatorii Q_{teh} și t_l. Dacă $t_l = \text{const.}$, valoarea lui η_{con} se micșorează odată cu creșterea lui Q_{teh} (fig. 6.3), ceea ce duce la reducerea ritmului de creșterea a lui Q_t. De aceea, *creșterea productivității este posibilă numai prin luarea în considerare a corelațiilor dintre cei doi indicatori.*

În general, la utilajele cu $\eta_{con} \leqslant 0{,}5$ trebuie în primul rînd redusă durata mersului în gol.

Practic acest lucru este posibil prin înlocuirea mișcărilor de du-te-vino ale organelor de lucru prin mișcări de rotație și/sau integrarea operațiilor respective în timpul operativ, adică executarea lor concomitentă. Numai în situația cînd $\eta_{con} > 0{,}5$, creșterea productivității tehnologice duce la o creștere marcantă a productivității teoretice a mașinii.

Scanned with OKEN Scanner

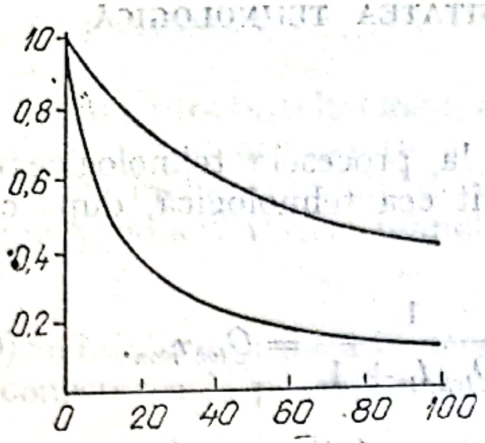


Fig. 6.3. Dependența coeficientului de continuitate η_{con} (în ordonată) în funcție de Q_{teh} și t_1.

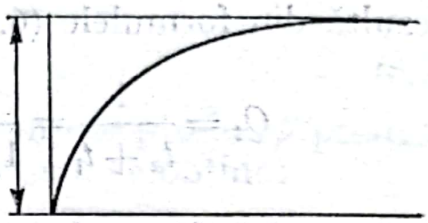


Fig. 6.4. Dependența productivității teoretice Q_t (în ordonată) de Q_{teh} și t_1.

Din reprezentarea formulei (6.6), în fig. 6.4, rezultă că la o mărime constantă a mersului în gol, Q_t capătă o alură crescătoare cu caracter asimptotic. Nivelul maxim al productivității apare la $t_l = \text{const}$.

$$Q_{t\,max} = \lim_{Q_{teh}\to\infty} \frac{Q_{teh}}{Q_{teh}\,t_l + 1}; \tag{6.8}$$

dacă durata mersului în gol se reduce la zero ($t_l = 0$), productivitatea teoretică Q_t tinde spre valoarea productivității tehnologice:

$$Q_{t\,max} = \lim_{t_l\to 0} \frac{Q_{teh}}{Q_{teh}\,t_l + 1} = Q_{teh}. \tag{6.9}$$

Din ultimele două formule rezultă că, la creșterea productivității tehnologice și la un mers în gol constant, orice mașină tehnologică are o limită a creșterii productivității. În schimb pentru $Q_{teh}\to\infty$ și $t_l\to 0$ creșterea productivității mașinii nu are nici o limită.

Prin generalizarea formulei (6.6) la apariția altor pierderi de timp se obține o formulă generală pentru calculul productivității respective

$$Q_1 = \frac{Q_{teh}}{Q_{teh}\left(t_l + \sum_1^n t_{vi}\right) + 1} \tag{6.10}$$

în care $t_{v1}, t_{v2}, \ldots, t_{vn}$ sînt pierderi diferite, în afara ciclului și care sînt raportate asupra unității de produs.

6.2.6. PRODUCTIVITATEA EFECTIVĂ (Q_{ef})

Dacă se raportează cantitatea de produse obținute cu o mașină la o anumită perioadă de producție (de exemplu, un schimb de muncă, o săptămînă, o lună etc.), valoarea rezultată va fi mai mică decît cea calculată după formula (6.6).

Acest fapt se datorează apariției unor pierderi întîmplătoare ale mașinii în această perioadă, din motive tehnologice și/sau organizatorice, inclusiv pierderile din perioadele în care se produc rebuturi.

Toate aceste pierderi sînt considerate ca fiind pierderi în afara ciclului tehnologic.

Productivitatea efectivă la fabricarea unui produs pe fiecare ciclu de producție, ținîndu-se seama de suma timpilor de întrerupere sau pierduți ($\sum t_s$), va fi

$$Q_{ef} = \frac{1}{T_a + \sum t_s} \tag{6.11}$$

iar la fabricarea a p produse în fiecare ciclu de producție

$$Q_{ef} = \frac{p}{T_a + t_s}. \tag{6.12}$$

6.2.7. CORELAȚIILE DINTRE PRODUCTIVITATEA TEORETICĂ Q_t ȘI PRODUCTIVITATEA EFECTIVĂ Q_{ef}

Din formula (6.11) se obține, ținîndu-se seama de formula (6.6) sau prin folosirea formulei generalizate (6.10),

$$Q_{ef} = Q_t \frac{1}{Q_t \cdot \sum t_s + 1} = Q_t \eta_p \tag{6.13}$$

în care coeficientul de folosire η_p, *numit și grad de folosire sau grad de productivitate*

$$\eta_p = \frac{1}{Q_t \cdot \sum t_s + 1} = \frac{Q_{ef}}{Q_t} = \frac{T_a}{T_a + \sum t_s}, \tag{6.14}$$

caracterizează *performanța mașinii și condițiile de exploatare.*

Acest coeficient ne poate exprima procentual și ponderea timpului productiv în fondul total de timp. Dacă $\eta_p = 0{,}80$, rezultă că mașina funcționează în medie 80 % din timp, iar 20 % reprezintă timp neproductiv din diferite cauze.

Scanned with OKEN Scanner

În perioada respectivă, productivitatea reprezintă 80% din cea posibilă.

Dacă $\eta_p < 0{,}5$ reducerea pierderilor din afara ciclului reprezintă metoda cea mai eficientă de creștere a productivității efective.

Dacă $\eta_p > 0{,}5$ este necesară, în primul rînd, creșterea productivității efective prin sporirea productivității teoretice.

Cel mai mare efect se obține bineînțeles prin creșterea concomitentă a lui η_p și Q_{ef}.

6.2.8. PIERDERILE CICLICE ȘI DIN AFARA CICLULUI

Este cunoscut că productivitatea unei mașini este raportată la fondul de timp disponibil, care la rîndul lui se compune din diferența între timpul calendaristic anual și timpul pierdut prin zilele nelucrătoare (sărbătorile legale), pauzele de masă și regimul de schimburi.

În cazul lucrului în două schimburi este posibilă realizarea unui grad de utilizare a timpului de numai $47 \div 52\%$.

Fondul de timp disponibil este redus în continuare și prin alte pierderi în cursul exploatării mașinii. Asemenea pierderi pot fi ciclice, în sensul că se repetă în fiecare ciclu de lucru al mașinii sau în afara ciclului, adică ele apar independent de ciclul de lucru și au o distribuție fie cu caracter previzibil, fie întîmplător.

Categoriile de pierderi de timp pot fi clasificate după cum urmează:

— *pierderi ciclice*, pierderi datorită mersului în gol, ca de exemplu pentru alimentare, deplasarea de la o stație de lucru la alta, fixarea, eliberarea piesei de prelucrat, deplasarea organelor active și sculelor etc.;

— *pierderi din afara ciclului*, care pot fi cu caracter periodic sau cu caracter neperiodic.

Din categoria pierderilor cu caracter periodic fac parte pierderile datorită aplicării măsurilor de reparații preventiv planificate, precum și întreținerea utilajului și pierderile prin alimentarea și extragerea pieselor prelucrate, în care timp mașina funcționează în gol. Acest fel de pierderi depinde de forma, dimensiunile și proprietățile pieselor prelucrate și mai cu seamă de soluția constructivă adoptată pentru alimentare și extragere. Ele exercită o influență deosebită asupra productivității mașinilor cu viteză mare.

În categoria pierderilor cu caracter neperiodic se înscriu pierderile datorate organului de lucru, a defectelor neprevăzute ale utilajului, a defectelor apărute la dispozitivele de comandă și reglare, din motive organizatorice, din lipsa la timp a pieselor de prelucrat, predarea schim-

Scanned with OKEN Scanner

bului, absenteism etc., precum și pierderi prin reutilare în vederea fabricării altor produse.

Apariția diferitelor categorii de pierderi într-o măsură mai mare sau mai mică depinde de piesa de prelucrat, de parametrii de lucru, de principiul ales de funcționare, precum și de tipul constructiv al mașinii.

6.2.9. MĂSURI PENTRU CREȘTEREA PRODUCTIVITĂȚII EFECTIVE

În corelație cu formulele anterioare, formula pentru calculul productivității efective poate fi scrisă și sub următoarea formă

$$Q_{ef} = Q_{teh} \cdot \eta_{con} \cdot \eta_p = Q_t \cdot \eta_p. \qquad (6.15)$$

În figura 6.5 se reprezintă grafic dependența fiecărei categorii de productivitate de turația arborelui de programare (comandă) și de diferite categorii de pierderi.

Pierderile neperiodice din afara ciclului au o alură progresiv crescătoare în raport cu turația arborelui, fapt ce duce la formarea unui punct maxim al productivității efective.

Dependența productivității de viteză este valabilă numai în situația cînd η_{con} = const., adică o dată cu modificarea duratei operației, durata mersului în gol pe intervalul ciclului de lucru se modifică proporțional.

Analizînd *factorii de sporire a productivității efective* a oricărui sistem tehnic de prelucrare automată pe baza formulei (6.15) se poate conchide că aceștia sînt:

a) productivitatea tehnologică (Q_{teh}) prin:

— intensificarea procedeelor de prelucrare;

— folosirea noilor procedee tehnologice care consumă puțin timp de operație t_a;

— defalcarea în continuare a duratei de acțiune a organului de lucru la mai multe stații de lucru;

— conectarea în paralel a p stații de lucru.

b) coeficientul η_{con} prin micșorarea timpilor de mers în gol, folosind diferite metode cum sînt:

— scurtarea timpului de revenire;

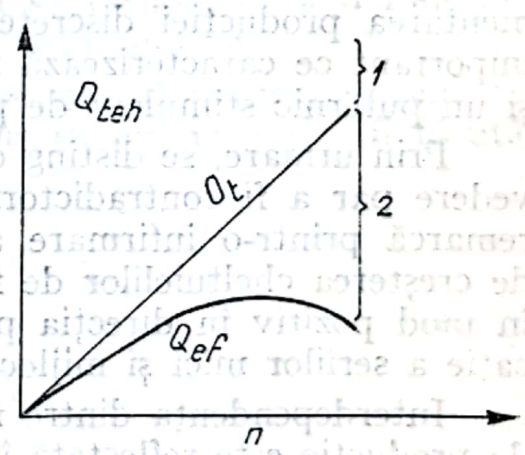


Fig. 6.5. Productivitatea unui utilaj în funcție de turație și de diferite categorii de pierderi:

1 — pierderi pr in mers în gol; *2* — pierderi întîmplătoarei tehnice și/sau organizatorice inclusiv rebut.

Scanned with OKEN Scanner

— comasarea timpului de mers în gol cu operații productive;
— înlocuirea mișcărilor de du-te-vino cu mișcările de rotație.

c) coeficientul η_p prin micșorarea pierderilor din afara ciclului cu:
— caracter periodic, prin aplicarea celor mai noi cunoștințe cu privire la reparații și întreținere, prin aplicarea de noi soluții constructive cu grad ridicat de flexibilitate privind alimentarea și extragerea pieselor;
— caracter neperiodic, ca urmare a reducerii pierderilor datorate organelor de lucru, dispozitivelor de comandă și reglare, producerii rebutului, organizării necorespunzătoare etc.

Analiza structurii diferitelor categorii de pierderi conduce la concluzia că creșterea productivității efective impune, după caz, aplicarea unor măsuri complexe privind înlăturarea tuturor categoriilor de pierderi enunțate, între care creșterea flexibilității mașinilor privind fabricația de piese unicat, serie mică și mijlocie.

6.3. DIVERSIFICAREA, O TRĂSĂTURĂ CARACTERISTICĂ A PRODUCȚIEI CONTEMPORANE

Creșterea continuă a volumului de mijloace tehnice într-o gamă cît mai variată și cu funcțiuni multiple reprezintă o cerință obiectivă a unei economii moderne. În aceste condiții, diversificarea — deși generează producția de serie mică și mijlocie, în unele cazuri chiar prin fragmentarea producției discrete de masă —, tinde să devină un indicator important ce caracterizează noua calitate a vieții, dar în același timp și un puternic stimulent de progres tehnic.

Prin urmare, se disting două laturi ale diversificării, care la prima vedere par a fi contradictorii: pe de o parte, efectul diversificării se remarcă printr-o infirmare a creșterii productivității muncii însoțită de creșterea cheltuielilor de fabricație, iar pe de altă parte acționează în mod pozitiv în direcția promovării tehnologiilor flexibile de fabricație a seriilor mici și mijlocii la producător.

Interdependența dintre mărimea seriei de fabricație și cheltuielile de producție este reflectată într-o relație ce redă variația costului unitar cu rădăcina a patra din mărimea seriei de fabricație

$$y = \frac{1}{\sqrt[4]{x}} \qquad (6.16)$$

în care y reprezintă ridicarea costului unitar al produsului și x gradul de creștere al seriei de fabricație.

De altfel pentru evaluarea avantajelor economice rezultate în procesul de fabricație, ca urmare a aplicării principiilor tipizării, Organizația Internațională de Standardizare (ISO) recomandă metoda folosirii graficelor etalon [58]. În acest scop, după cum rezultă din fig. 6.6, se redau două curbe deduse experimental: $y = x^{-0,25}$ și $y = x^{-0,3}$, unde y reprezintă reducerea costului unitar al produsului (în procente), iar x gradul de creștere al seriei de fabricație.

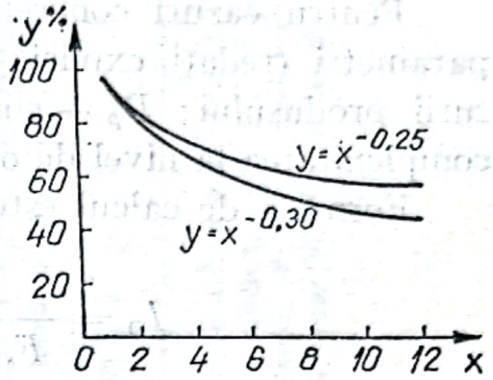


Fig. 6.6. Variația costului unitar al produsului $y(\%)$ în funcție de gradul de creștere al seriei de fabricație x.

Din necesitatea de a deveni competitiv din punct de vedere economic într-o societate modernă, în condițiile adîncirii diviziunii internaționale a muncii — în care primează interesele beneficiarului, piața devenind o „piață a cumpărătorului" —, producătorul este constrîns să-și stabilească o strategie proprie de diversificare și de înnoire a producției.

În consecință, rezolvarea problemei productivității muncii, asupra căreia ne-am referit mai înainte, impune în cele din urmă găsirea căilor și posibilităților practice de ridicare a gradului de flexibilitate a sistemelor de fabricație în domeniul producției de unicate, serie mică și mijlocie.

Prin *flexibilitate* se înțelege capacitatea unui sistem industrial de a se adapta cu cheltuieli minime la sarcini de producție diversificate astfel încît într-o perioadă prelungită să fie asigurată o funcționare economică cu schimbări de structură neînsemnate.

Evaluarea gradului de diversificare corespunzător unei sarcini de producție, în vederea delimitării tipurilor de producție, poate fi făcută pe cale analitică cu formula

$$I_D = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_i C_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i K_i C_i} \qquad (6.17)$$

în care C_i este gradul de complexitate de ordin i, K_i procent de elemente distincte referitor la tipul de complexitate de ordin i, iar F_i coeficientul de repetabilitate a elementelor distincte referitor la tipul de complexitate de ordin i.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru cazuri concrete I_D se calculează în funcție de următorii parametri (redați explicit în tabelul 6.1): D_s — complexitatea structurii produsului; D_p — complexitatea în procedee tehnologice; D_o — complexitatea la nivel de operații.

Formula de calcul este următoarea

$$I_D = \frac{K_s \cdot D_s + K_p D_p + K_o D_o}{F_s K_s D_s + F_p K_p D_p + F_o K_o D_o} \tag{6.18}$$

în care, efectuîndu-se substituțiile și introducîndu-se notațiile:

$K = n \cdot m$ — constanta de diversificare a întreprinderii;

$K_s = \frac{j \cdot w}{\sum_{\alpha=1}^{\beta} P_\alpha}$ — constanta de diversificare în structură;

$K_s = \frac{o \cdot w}{\sum_{\nu=1}^{\beta} P_\nu}$ — constanta de diversificare în procedee tehnologice;

$K_o = \frac{o \cdot w}{\sum_{\delta=1}^{\beta} P_\delta}$ — constanta de diversificare la nivel de reper-operații,

se obține

$$I_D = K \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{m} \frac{K_s \sum_{l=1}^{o} R_{jkl} + K_p \sum_{x=1}^{y} T_{jkx} + K_o \sum_{z=1}^{w} O_{jkz}}{K_s \cdot F_{jk} \sum_{l=1}^{o} R_{jkl} + K_p A_{jk} \sum_{x=1}^{y} T_{jkx} + K_o N_{jk} \sum_{z=1}^{w} O_{jkz}} \tag{6.19}$$

Se observă că o clasificare a tipurilor de producție în funcție de gradul de diversificare astfel calculat pune în evidență atît caracteristicile proprii sarcinii de producție, cît și cerințele de diversificare a procesului tehnologic.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.1

Parametrii pentru determinarea gradului de diversificare a sarcinii de producție I_D

Nr. crt.	Simbolul și denumirea parametrului	Relația	Semnificația elementelor
1	2	3	4
1.	*Complexitatea structurii*	$D_s = \dfrac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{o} R_{jkl}}{nmo}$	n — numărul de familii de produse, componente ale sarcinii de producție; m — număr de tipuri de produse pe familie o — număr de elemente (ansamble, subansamble, repere, normalizate, semifabricate) componente ale unui tip de produs; $\beta = C_n^2$ — număr de perechi de familii de produse între care se depistează elementele comune; R_{jkl} — elementul l din structura tipului de produs K, component al familiei de produse j; P_α — numărul de elemente comune între două familii de produse; F_{jk} — numărul de repetări a tipului de produs k component al familiei de produse j, în perioada analizată. j, k, l, α — indici de însumare
1.1.	D_s — gradul de complexitate în structură a sarcinii de producție		
1.2.	K_s — procentul de elemente distincte în structura sarcinii de producție	$K_s = \dfrac{\beta}{\sum_{a=1}^{\beta} P_\alpha}$	
1.3.	F_s — coeficientul de repetabilitate în structură a elementelor distincte în perioada considerată	$F_s = \dfrac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} F_{jk}}{nm}$	
2.	*Complexitatea în procedee tehnologice*	$D_p = \dfrac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m}\sum_{x=1}^{y} T_{jkx}}{nmy}$	y — numărul de procedee tehnologice folosite pentru un tip de produs; T_{jkx} — procedeul tehnologic x folosit pentru tipul de produs k, aparținînd familiei de produse j;
2.1.	D_p — gradul de complexitate în procedee tehnologice folosite pentru realizarea sarcinii de producție		

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.1 (continuare)

1	2	3	4
2.2.	K_p — procentul de procedee tehnologice distincte	$K_p = \frac{\beta}{\sum_{\nu=1}^{\beta} P_\nu}$	P_ν — numărul de procedee tehnologice comune pentru două familii de produse; A_{jk} — numărul de procedee tehnologice repetate folosite pentru tipul de produs k, aparținînd familiei de produse j, în perioada analizată; x, ν — indici de însumare
2.3.	F_p — coeficientul de repetabilitate a procedeelor distincte pentru perioada analizată	$F_p = \frac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} A_{jk}}{nm}$	
3.	*Complexitate reper-operații*		ω, z — numărul de reper-operații necesare executării unui tip de produs; O_{jkz} — reper-operația z necesară executării tipului de produs k, aparținînd familiei de produse j; P_δ — numărul de reper-operații comune pentru două familii de produse; N_{jk} — numărul de reper-operații repetate folosite pentru tipul de produs k, aparținînd familiei de produse j.
3.1.	D_o — gradul de complexitate la nivelul de reper-operații pentru realizarea sarcinii de producție	$D_o = \frac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m}\sum_{z=1}^{w} O_{jkz}}{nmw}$	
3.2.	K_o — procentul de reper-operații distincte	$K_o = \frac{\beta}{\sum_{\delta=1}^{\beta} P_\delta}$	
3.3.	F_o — coeficientul de repetabilitate a reper-operațiilor distincte în perioada analizată	$F_o = \frac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} N_{jk}}{nm}$	

Scanned with OKEN Scanner

6.4. CĂI DE EVALUARE A FLEXIBILITĂȚII TEHNICO-ORGANIZATORICE A SISTEMELOR CIBERNETICO-INDUSTRIALE

Pentru raționalizarea producției de serie mică și mijlocie în domeniul fabricației eforturile sînt concentrate atît în direcția dotării cu echipamente tehnologice ușor adaptabile la sarcini noi de producție, cît și în direcția creării unor forme specifice de organizare și conducere adecvate.

Principial, un sistem cibernetico-industrial poate fi considerat flexibil dacă variațiilor mari ale unor mărimi de intrare în sistem nu le corespund perturbații mari în funcționarea sistemului, ceea ce permite adaptarea rapidă și economică a sistemului la noile sarcini de producție.

Prin flexibilitatea sistemelor de fabricație se urmărește nu numai obținerea de economii imediate, dar mai ales creșterea posibilităților de realizare a unor economii în activitatea de viitor. Ca urmare, se va determina în cele ce urmează relațiile de interdependență dintre parametrii caracteristici ce influențează flexibilitatea unui sistem cibernetico-industrial în diferitele sale etape de dezvoltare.

Astfel, dacă vom cuantifica prin costuri valoarea fondurilor fixe (T) necesare subsistemului tehnic și tehnologic și a celor necesare exploatării și conducerii subsistemelor (O), studiul flexibilității revine la a cerceta adaptarea în timp a cuplului (T, O) la variațiile sarcinilor de producție S. Prin urmare, considerînd că cei trei parametri (S, T, O) caracterizează sistemul cibernetico-industrial, se va studia funcția de răspuns $f(T(t), O(t))$ a cuplului (T, O), la variația în timp a funcției $F(S_{(t)})$, adică corelația

$$F(S_{(t)}) = f(T_{(t)}, O_{(t)}). \tag{6.20}$$

Acceptînd existența unei astfel de legături rezultă că sistemul este controlabil și echilibrabil, iar satisfacerea variațiilor parametrului de sarcină S revine la a regla optim, în timp, cei doi parametri T și respectiv O.

Variația în timp a sarcinii și, corelat cu aceasta a parametrilor T și O, va corespunde variației în timp a funcțiilor F și respectiv f

$$\dot{F} = \frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}s} \cdot \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} \tag{6.21}$$

$$\dot{f} = \frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t} = \frac{\partial f}{\partial T} \cdot \frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} + \frac{\mathrm{d}f}{\partial O} \cdot \frac{\mathrm{d}O}{\mathrm{d}t}. \tag{6.22}$$

Scanned with OKEN Scanner

Pentru adaptarea sistemului cibernetico-industrial este necesar ca cele două funcții (F și f) să aibă aceeași viteză de variație, adică

$$\dot{F} = \dot{f}. \tag{6.23}$$

Aceasta înseamnă că variațiilor x ale parametrului S le corespund variații y ale parametrului T și variații z ale parametrului O.

Fie x variația sarcinii $S_{(t)}$ față de valoarea $S \Rightarrow S_{(t)} = S + x\,(t)$; y — variația parametrului $T(t)$ față de valoarea T corespunzătoare sarcinii $S \Rightarrow T(t) = T + y(t)$; z — variația parametrului $O(t)$ față de valoarea O corespunzătoare sarcinii S și a parametrului $T \Rightarrow O(t) = O + Z(t)$.

În acest caz, relația (6.23) devine

$$\dot{F}(S + x) = \dot{f}(T + y,\ O + z). \tag{6.24}$$

Relația (6.24) exprimă astfel cerința de flexibilitate a sistemului. Adaptarea optimală, în condiții de economicitate maximă, a sistemului ce satisface relația de mai sus, impune efectuarea unor cheltuieli minime în timp pentru modificarea parametrilor T și O, ca răspuns la variația sarcinii S. Aceasta presupune înregistrarea unei viteze de variație maximă a funcției f de răspuns a sistemului (T, O) la variația sarcinii S, ceea ce revine la a anula derivata totală a funcției de răspuns

$$\frac{\mathrm{d}\dot{f}}{\mathrm{d}t} = 0. \tag{6.25}$$

Prin urmare, condiția de flexibilitate optimală a unui sistem cibernetico-industrial va fi dată de relația

$$\frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}x}\dot{x} = \frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}t} = 0. \tag{6.26}$$

sau

$$\frac{\partial \dot{f}}{\partial y}\dot{y} + \frac{\partial \dot{f}}{\partial z}\dot{z} = 0; \tag{6.27}$$

ținînd seama de relația

$$\dot{f} = \frac{\partial \dot{f}}{\partial y}\dot{y} + \frac{\partial \dot{f}}{\partial z}\dot{z} \tag{6.28}$$

Scanned with OKEN Scanner

relația (2.27) devine

$$\frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{\partial f}{\partial y}\dot{y}+\frac{\partial f}{\partial z}\dot{z}\right]\dot{y}+\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\partial f}{\partial y}\dot{y}+\frac{\partial f}{\partial z}\right]\dot{z}=0 \tag{6.29}$$

sau

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\dot{y}^2+2\frac{\partial^2 f}{\partial y\,\partial z}\dot{y}\dot{z}+\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}\dot{z}^2=0. \tag{6.30}$$

Determinarea relațiilor între variația parametrilor T și O revine la a găsi funcția f care satisface relația (6.30) și totodată relația (6.20), aplicînd metoda separării variabilelor și presupunînd că funcția f este de forma

$$f(T+y(t),\ 0+z(t))=g(y)\cdot h(z); \tag{6.31}$$

atunci

$$\frac{\partial f}{\partial y}=\frac{\mathrm{d}g}{\mathrm{d}y}\cdot h(z)=g'(y)\cdot h(z)$$

$$\frac{\partial f}{\partial z}=g(y)\ h'(z)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}=g''(y)\ h(z);\quad \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}=g(y)\ h''(z)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y\partial z}=g'(y)\ h'(z).$$

Introducînd în (6.30), se obține

$$\dot{y}^2 g''(y)\ h(z)+2\dot{y}\dot{z}g'(y)\ h'(t)+\dot{z}^2 g(y)\cdot h''(z)=0. \tag{6.32}$$

Cum funcțiile $g(y)$, $h(z)$ nu sînt identic nule, putem împărți, pentru domeniul de definiție corespunzător, ambii membrii ai ecuației (6.32) cu produsul $g(y)\cdot h(z)$, rezultînd

$$\frac{g''(y)}{g(y)}\cdot\dot{y}^2+2\dot{y}\,\frac{yg'(y)}{g(y)}\cdot\dot{z}\,\frac{h'(z)}{h(z)}+\dot{z}^2\frac{h''(z)}{h(z)}=0. \tag{6.33}$$

Ecuația de mai sus pune în evidență legătura dintre variațiile y ale lui T și variațiile z ale lui O. Această ecuație poate fi rezolvată dacă se cunosc funcțiile $y(t)$ și $z(t)$.

Scanned with OKEN Scanner

Aplicînd pentru cazuri reale și pentru intervale de timp relativ mici, se consideră următoarele variații liniare atît pentru sarcina S, cît și pentru parametrii T și O

$$x(t) = r_s t;\ y(t) = r_T t;\ z(t) = r_0 t.$$

în care r_s, r_T și r_0 sînt ritmuri de creștere a sarcinii și respectiv a parametrilor T și O, iar t reprezintă timpul ca variabilă pe intervalul considerat.

Efectuînd substituirile în (6.33) rezultă o ecuație cu coeficienți constanți

$$r_T^2 \frac{g''(y)}{g(y)} + 2r_T r_0 \frac{g'(y)}{g(y)} \cdot \frac{h'(z)}{h(z)} + r_0^2 \frac{h''(z) r_0^2}{h(z)} = 0. \tag{6.34}$$

Ecuația poate fi rezolvată mai departe în funcție de particularitățile etapei de dezvoltare în care se află sistemul. Raportul r_0/r_T poate caracteriza următoarele etape:

$\frac{r_0}{r_T} \ll 1$ — adaptare prin dezvoltare tehnică accelerată

$\frac{r_0}{r_T} \gg 1$ — adaptare prin dezvoltarea organizatorică.

Presupunînd $\left(\frac{r_0}{r_T}\right)^2 \simeq 0$, ecuația (6.34) devine

$$\frac{g''(y)}{g(y)} + 2\frac{g'(y)}{g(y)} \cdot \frac{h'(z)}{h(z)} \cdot \frac{r_0}{r_T} = 0. \tag{6.35}$$

Prin separarea variabilelor se obține

$$2\frac{g'(y)}{g(y)} \cdot \frac{h'(z) r_0}{h(z)} \frac{r_0}{r_T} = -\frac{g''(y)}{g(y)} \tag{6.36}$$

sau

$$\frac{h'(z)}{h(z)} \frac{r_0}{r_T} = -\frac{g''(y)}{2g'(y)} \tag{6.37}$$

sau

$$\frac{h'(z)}{h(z)} = k_1 \Rightarrow \ln h(z) = k_1 z + k_2 \tag{6.38}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care k_1 este o constantă comună variabilelor separate, iar k_2 reprezintă constanta de integrare. De aici

$$h(z) = e^{k_1 z + k_2} \tag{6.39}$$

Rezultă că parametrul $O(t)$, a cărui variație este z, are caracter de amortizor al cheltuielilor de dezvoltare ale sistemului tehnic considerat, pentru adaptare la variația sarcinii, deoarece k_1 este negativ, după cum rezultă din relația (6.37). Pentru a se obține $g(y)$ se introduce (6.38) în (6.34) obținîndu-se

$$g''(y) r_T^2 + 2 r_T r_0 g'(y) e = k_1 z + k_2 = 0; \tag{6.40}$$

substituind

$$g(y) = e^{\alpha} \cdot y \tag{6.41}$$

în relația (6.40) se obține

$$a^2 r_T^2 e^{\alpha y} + 2 r_T r_0 a e^{\alpha y} \cdot e^{k_1 z + k_2} = 0 \tag{6.42}$$

și de aici

$$\alpha_1 = 0, \quad \alpha_2 = \frac{-2 r_T r_0 e^{k_1 z + k_2}}{r_T^2} = -2 \frac{r_0}{r_T} e^{k_1 z + k_2},$$

deci

$$g(y) = c_1 e^{-\frac{2 r_0}{r_T} y e^{k_1 z + k_2}} + c_2. \tag{6.43}$$

Dacă $\frac{r_0}{r_T} \gg 1$, adaptarea sistemului se realizează în special pe seama creșterii parametrului O. În acest caz este importantă determinarea funcției $h(z)$.

Prin analogie cu (6.39) și (6.43), găsim

$$h(z) = c_1' e^{-\frac{2 r_0}{r_T} z e^{k_1 y + k_2}} + c_2' \tag{6.44}$$

iar pentru funcția g se obține

$$g(h) = e^{k' y + k^2}. \tag{6.45}$$

Se poate avea în vedere și situația în care una dintre funcții este dată.

Pentru anumite cazuri reale poate fi considerată cunoscută funcția g, care apriori descrie influența parametrului T asupra parametrului O, deoarece un anumit grad de dezvoltare al subsistemului tehnic și tehnologic necesită o dezvoltare adaptată pentru sistemul organizatoric. Pentru domeniul de proporționalitate se poate presupune că

$$g(y) = k_3 y \tag{6.46}$$

Scanned with OKEN Scanner

și atunci

$$h(z) = c_1'' e^{-\frac{2r_0 k_3 y z}{r_T}} + c_2''. \tag{6.47}$$

Rezultă că pentru ipotezele caracterizate prin anumite raporturi ale ritmurilor r_0 și r_T, cît și pentru influența reciprocă, aprioric determinată a subsistemelor tehnice asupra celor organizatorice, se pot calcula expresiile pentru funcțiile g și h. În aceste cazuri condiția de echilibru (6.20) capătă forma

$$F(x) = f(y, z) = g(y)\ h(z). \tag{6.48}$$

Pentru determinarea lui F se ține seama de condiția de economicitate

$$\frac{\partial \dot{F}}{\partial z} = 0 \tag{6.49}$$

sau

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \dot{x} = 0 \tag{6.50}$$

sau

$$F(x) = a\dot{x} + b \tag{6.51}$$

și introducînd în (2.48) pe F, h și g se obține, de exemplu, pentru cazul raportului r_0/r_T mic, relația

$$ax + b = \left[c_1 e^{-\frac{2r_0}{r_T} y e^{k_1 z + k_2}} + c_2\right] e^{k_1 z + k_2} \tag{6.52}$$

în care constantele a, b, c_1, c_2, k_1, k_2 se determină din condițiile de timp inițial $t = 0$ și sarcina $S = \text{const.}$ $(x = 0)$ sau prin determinări ale mărimilor x, y și z în diferite momente în perioada de dezvoltare a sistemului sau la începutul perioadei de regim stabilizat.

Evaluarea flexibilității în cadrul promovării tehnicii noi face obiectul unor cercetări românești [108], [23].

6.5. RAȚIONALIZAREA SERIILOR DE FABRICAȚIE ÎN CONSTRUCȚIA DE MAȘINI

Necesitatea realizării unui proces de fabricație cu producție discretă, în pas cu cerințele crescînde de diversificare, în condiții de eficiență economică și competitiv pe plan internațional, obligă la concen-

Scanned with OKEN Scanner

trarea efortului de creație încă din etapa de concepție prin abordarea sistemică a tehnologiilor de fabricație, acceptînd în mod deliberat implicațiile unei adaptări și restructurări a mijloacelor tehnice de fabricație, precum și o nouă organizare a procesului de producție.

În fapt problema principală a ramurilor industriale cu producție discretă și în primul rînd a construcției de mașini o constituie creșterea loturilor de fabricație în producția de serii mici și mijlocii, în condițiile unei diversificări raționale, pentru a putea beneficia în procesul de producție de avantajele economice asemănătoare cu acele rezultate din automatizarea producției de masă. Aceasta, în condițiile în care se urmărește introducerea unor tehnologii care să elimine complet deșeurile, în sensul că — în diferite forme — ele trebuie să recupereze totul sau să permită a se economisi totul (materii prime, energie, informație) asigurîndu-se totodată și protecția corespunzătoare a mediului exterior. Realizarea unor astfel de circuite impune ca încă de la proiectarea unui produs să se aibă în vedere corelația tehnologică cu alte produse, la scara unei întreprinderi, a unei ramuri sau chiar la scară națională, precum și posibilitatea utilizării componentelor după uzură și reintroducerea în circuitul tehnologic a ceea ce rămîne din procesul de fabricație al fiecărui produs realizat.

Una dintre direcțiile de acțiune în acest sens o constituie tocmai adaptarea și dezvoltarea după criterii corespunzătoare a metodelor, tehnicilor și procedeelor aplicate în producția de masă.

Ținînd seama de aceste considerente, studiile privind abordarea globală a problemelor de concepție tehnologică pentru raționalizarea producției de serie mică și mijlocie sînt orientate pe următoarele direcții:

— analiza funcțiilor sistemului tehnologic de fabricație din punct de vedere al mărimilor de intrare și ieșire din sistem;

— studiul echipării tehnice din punct de vedere al posibilităților de adaptare la prelucrarea unor sarcini de producție diversificate, prin crearea de unități de producție de tip „celulă de fabricație flexibilă";

— studiul capacității sistemului de conducere și organizare de a controla procese de producție în condițiile creșterii gradului de informatizare și de trecere de la „specializarea proces" la „specializarea produs".

6.5.1. ELEMENTE DE ANALIZĂ A FLUXURILOR DE INTRARE ȘI DE IEȘIRE DINTR-UN SISTEM TEHNOLOGIC ÎN CONSTRUCȚIA DE MAȘINI

Aplicarea în practică a principiului priorității sistemului în domeniul raționalizării seriilor de fabricație pleacă de la ideea abandonării unor metode folosite în proiectarea tehnologică, care se bazau pe concentrarea efortului principal către crearea elementelor în mod izolat,

Scanned with OKEN Scanner

fără a avea în permanență o imagine de ansamblu a întregului sistem pe traseul proiectant-executant-utilizator. Trecerea la o concepție integrată a unei modernizări complexe a producției este posibilă numai prin legarea într-un ciclu unic a reproiectării produselor și asimilarea produselor noi, reorganizarea tehnologică a fabricației, ridicarea calității și automatizarea.

Adoptarea unei concepții integrate a sistemului necesită în primul rînd o analiză de detaliu atît a intrărilor, cît și ieșirilor din sistem. Astfel, dacă avem în vedere crearea unui program de fabricație în construcția de mașini, studiul fluxurilor de intrare iau în considerare atît materialele, semifabricatele și energia care se transformă în acest proces, cît și mijloacele tehnice și „instrucțiunile" (regimurile de așchiere, operațiile, rețetele etc.) ce prescriu modul de desfășurare a procesului. Fluxurile de ieșire sînt reprezentate de produsele realizate de sistemul tehnologic respectiv.

Cu toate că construcția de mașini nu este cel mai mare consumator de energie, între ramurile industriale, totuși ea dispune de importante rezerve energetice.

Analiza fluxurilor de intrare din punct de vedere al consumului de energie are în vedere în primul rînd asigurarea reducerii la minim a pierderilor. Căile de atingere a acestui obiectiv sînt concentrate, îndeosebi, în direcția creșterii preciziei regimurilor tehnologice, a randamentului energetic la fiecare operație în parte, precum și a recuperării pierderilor inevitabile. În cazul sistemelor tehnologice complexe există posibilitatea reutilizării reziduurilor în cadrul aceluiași proces, precum și cuplarea energetică a unor procese endoterme (de exemplu, spălări) cu procese exoterme (de exemplu, răciri).

De aceea, întotdeauna proiectarea sistemelor tehnologice trebuie să aibă în vedere toate soluțiile posibile de recuperare a pierderilor energetice.

Analiza mărimilor de intrare referitoare la calitatea materialului și a semifabricatului utilizat are o mare influență asupra costului de producție și a preciziei de prelucrare.

La alegerea semifabricatului trebuie avut în vedere ca acesta să aibă o formă cît mai apropiată de dimensiunile piesei finite, astfel încît cea mai mare parte a manoperei de prelucrare să fie consumată în secțiile de semifabricare și numai o parte relativ mică să se execute în atelierele mecanice.

Forma semifabricatului este influențată substanțial de metoda folosită la semifabricare. De aceea în cazul în care este posibilă utilizarea mai multor feluri de semifabricate (forjate, laminate, matrițate etc.) decizia asupra alegerii uneia dintre ele trebuie fundamentată prin

Scanned with OKEN Scanner

calcule economice de comparare a variantelor diferitelor procedee de execuție a pieselor din diferite semifabricate.

Dată fiind importanța alegerii semifabricatului redăm cîteva din direcțiile de dezvoltare a tehnologiilor de producere a semifabricatelor cu implicații directe asupra raționalizării producției de serie mică și mijlocie.

Una din tendințele cunoscute de obținere a semifabricatelor constă în aplicarea pe scară largă a diferitelor *procedee de sudare*. În prezent sudarea reprezintă principala formă de realizare a îmbinărilor nedemontabile, iar pe viitor se apreciază că își va păstra pozițiile cucerite. În producția de serie mare și de masă sudarea se folosește în mod frecvent pentru îmbinarea diferitelor părți ale semifabricatelor obținute prin alte procedee de semifabricare.

Folosirea diferitelor combinații pleacă de la premisa că elementele unei piese nu lucrează în aceleași condiții și în consecință prin metoda combinării prin sudare se folosesc semifabricate din materiale cu proprietăți diferite. Această metodă conduce la îmbunătățirea coeficientului de utilizare a materialului și la reducerea corespunzătoare a costului de producție.

În prezent sudarea se impune ca o tehnică de bază în fabricarea mașinilor, utilajelor și structurilor destinate construcțiilor de mașini, chimiei, construcțiilor civile și industriale etc.

Pentru fabricarea construcțiilor sudate se consumă aproape jumătate din volumul mondial de oțel. În țările avansate din punct de vedere industrial mai mult de 30% din produsele care concură la realizarea produsului național total sînt ansamblate sau fabricate prin sudare.

Cercetările privitoare la extinderea gamei procedeelor care au condus la o dezvoltare explozivă în perioada 1940—1970 s-au limitat, în principal după această perioadă, la adîncirea cunoștințelor deja conturate. Dealtfel, după opinia experților tehnica sudării a atins un astfel de nivel încît în prezent nu se mai așteaptă schimbări spectaculoase în aproape nici un domeniu legat de ea.

În ceea ce privește ponderea diferitelor procedee de sudare, aceasta nu va suferi modificări esențiale, iar evoluția ei se admite a fi următoarea:

Procedeul de sudare	Ponderea				
	1970	1975	1980	1985	2000
Sudarea prin topire	69,1	66,1	62,9	57,9	53
Sudarea prin presiune	27,1	29,9	32,9	35,5	39
Procedee noi	3,8	4,0	4,5	6,6	8

Scanned with OKEN Scanner

Apariția concepției de automatizare flexibilă, bazată pe robotizarea proceselor tehnologice, care să permită realizarea îmbinărilor fără a fi necesară supravegherea rezultatului de către om, impune în continuare noi cercetări privind bazele științifice ale sudării pentru a se înlătura empirismul și „simțul tehnic", care mai joacă încă un rol însemnat în acest domeniu. Ca urmare se așteaptă în următorul deceniu ca cercetarea fundamentală în domeniul sudării (fizica procedeelor, modelarea ciclului termic și a tensiunilor, riscul de rupere și admisibilitatea defectelor etc.) să reprezinte principalul domeniu de cercetare pe plan mondial.

În ceea ce privește țara noastră, deși pînă în prezent nu sînt semnalate domenii ale științei și tehnicii sudării în care să deținem poziții dominante, direcțiile de cercetare în acest domeniu corespund cu cele existente pe plan mondial, cu excepția ponderii mai mici a cercetărilor fundamentale.

Se așteaptă acordarea unei atenții speciale utilizării calculatoarelor, unde se constată o relativă rămînere în urmă față de nivelul mondial, precum și robotizării procedeelor de sudare.

Una dintre metodele folosite în semifabricarea prin deformare plastică și care s-a impus în ultimul timp este *extrudarea*. Extrudarea cunoaște o dezvoltare rapidă datorită posibilităților de realizare a unei game largi de piese și produse finite în condițiile obținerii unor economii substanțiale de metal și de reducere a costului producției. Economicitatea producției de piese extrudate în raport cu alte procedee de prelucrare devine mai accentuată în cazul alcătuirii următoarelor serii minime (34):

— piese cu masa pînă la 100 g 40 000 buc.
— piese cu masa între 100 g și 500 g 20 000 buc.
— piese cu masa peste 500 g 10 000 buc.

Micșorarea seriilor minime poate fi realizată prin creșterea gradului de automatizare.

Un alt procedeu care s-a impus în ultima vreme în domeniul obținerii semifabricatelor și a pieselor finite este *metalurgia pulberilor*, în cadrul căreia se procedează la omogenizarea amestecului de pulberi metalice, presarea în matrițe și sinterizarea la temperaturi corespunzătoare. În urma încălzirii și presiunii diferențiate ale mediului se produce difuziunea componenților amestecului prin topire, formînd produsul final.

Metalurgia pulberilor creează posibilități largi de reducere a consumurilor de materiale, precum și de obținere a unor aliaje cu proprietăți speciale ce nu pot fi obținute prin alte procedee de prelucrare, eliminînd aproape complet prelucrările mecanice.

Scanned with OKEN Scanner

Un cîmp larg de obținere a semifabricatelor și pieselor finite îl reprezintă aplicarea *tehnologiilor neconvenționale* și îndeosebi prelucrarea prin *electroeroziune și electrochimică.*

În figura 6.7 este reprezentată diagrama de eficiență comparativă între prelucrările neconvenționale și metoda clasică de prelucrare mecanică prin așchiere în funcție de mărimea seriei de fabricație.

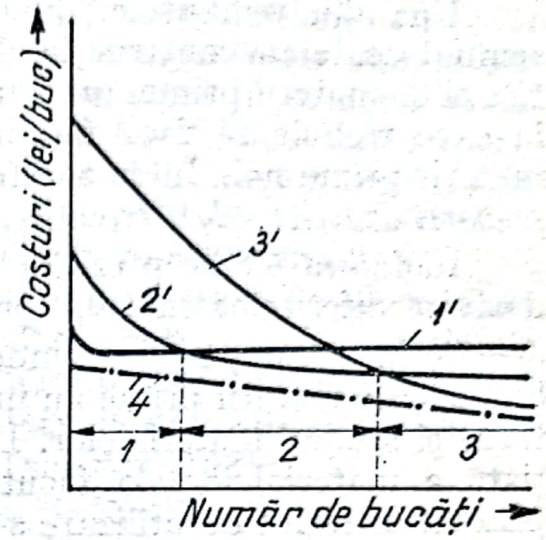


Fig. 6.7. Eficiența comparativă între diferite metode de prelucrare.
1,2,3,—serii crescătoare de piese; *1'*—așchiere; *2'* — electroeroziune; *3'* — electrochimic.

Din această diagramă rezultă că, o dată cu creșterea seriei de fabricație, aplicarea tehnologiilor de fabricație prin electroeroziune și pe cale electrochimică devine deosebit de economică în raport cu prelucrarea mecanică. Se estimează că, dacă s-ar înlocui prin tehnologii neconvenționale de electroeroziune și electrochimie numai 20% din ansamblul actualelor prelucrări de materiale ce se fac în țara noastră cu mijloace clasice, s-ar realiza o reducere anuală de 10 milioane ore muncă de așchiere, ca și importante economii de metal și îmbunătățirea considerabilă a calității produselor.

De remarcat că majoritatea procedeelor și soluțiilor tehnice adoptate pentru economisirea metalului sînt aplicate, deobicei, în cadrul uneia din fazele lanțului tehnologic de obținere a produsului finit. Folosirea acestei metode devenite clasice a ajuns în multe cazuri la o limită superioară, care nu mai permite să fie cu mult depășită.

Astfel coeficientul de scoatere a laminatelor din lingou de oțel a ajuns la 85—90 la sută, iar la debitarea laminatelor s-a atins cca. 90—95 la sută.

Epuizarea soluțiilor clasice a condus în ultima vreme la cercetări privind aplicarea unor tehnologii neconvenționale care elimină de fapt unele dintre fazele lanțului tehnologic de semifabricare. În această categorie se înscrie *procedeul de matrițare direct din oțel lichid.*

În acest caz oțelul lichid se toarnă în matrițe de construcție specială și, pentru obținerea unei compactări corespunzătoare și a fibrajului necesar, acestea sînt supuse unei operații de presare, în fază păstoasă, eliminîndu-se în acest fel faza de laminare și forjare.

Această metodă, experimentată și în țara noastră în cadrul Universității Brașov, obține rezultate bune în cazul pieselor de complexitate medie și de mărime mică și medie de pînă la 10 kg.

Scanned with OKEN Scanner

Una din tendințele importante de diversificare a producției de semifabricate în construcția de mașini, impusă de restricțiile energetice și de materii prime, precum și de solicitările din ce în ce mai ridicate la care trebuie să facă față mecanismele, o constituie folosirea unor materii prime noi. Între acestea se remarcă în mod deosebit *extinderea folosirii maselor plastice, aluminiului și aliajelor cu proprietăți de vîrf.*

În figura 6.8 se prezintă consumul specific de energie pentru producerea diferitelor materii prime.

Cerințele mereu crescînde ale tehnologiilor de vîrf și rezervele limitate de materii prime au impus cu timpul o nouă orientare în cercetarea și studiul materialelor. Dacă, în mod tradițional, folosirea diferențiată a materialelor s-a făcut în funcție de proprietățile acestora, în prezent criteriul de utilizare s-a deplasat către structura internă tipică, determinată de elementul ce le conferă o gamă largă de proprietăți.

Semnificativ în acest sens sînt componenții tipici ai materialelor ceramice devenite în mare actualitate (componenții tipici sînt constituiți din oxizi, în special SiO_2) care le conferă după caz o serie de propietăți superioare ca: duritate, fragilitate, rezistență electrică și termică.

După cum este cunoscut, în domeniul materialelor metalice, în cele mai frecvente cazuri, cercetările se complică deoarece structura internă tipică nu este decisă întotdeauna numai de numărul limitat de elemente chimice componente, ci și de anumiți parametri ai procesului de prelucrare a semifabricatelor.

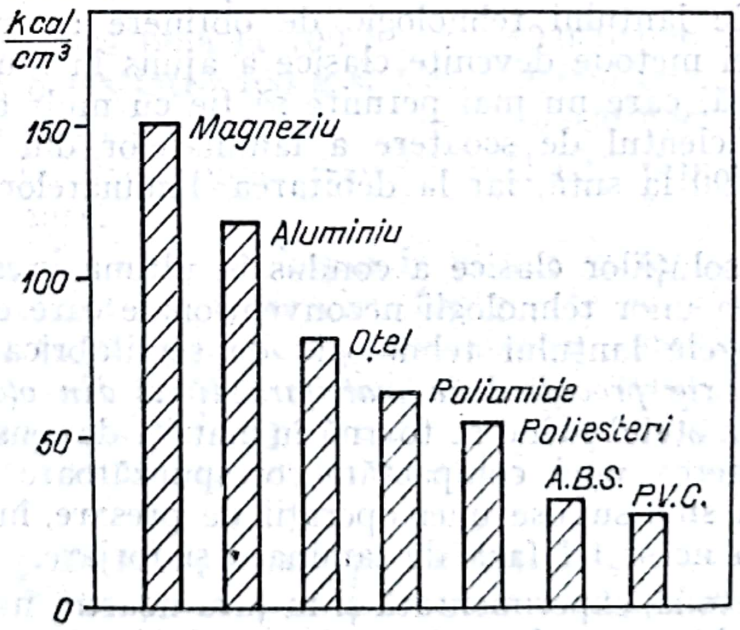


Fig. 6.8. Consumul specific de energie pentru producerea diferitelor materii prime.

Ca urmare, obținerea unei structuri tipice în concordanță cu cerințele practice se poate face numai în urma unor cercetări bazate atît pe studii de corelații simple, în cazul cînd legătura între două caracteristici ale calității este suficient de strînsă (încît una dintre caracteristici — variația ei — poate fi controlată și stăpînită pe baza variației celeilalte caracteristici), cît și de corelații multiple cînd avem mai mult de două variabile ce se intercondiționează simultan.

În general, rezolvarea problemei în cazul legăturii a două variabile, constă în stabilirea unui interval de încredere pentru una din variabile, să zicem Y, astfel încît să putem garanta cu o probabilitate determinată că variabila Y va lua valori aparținînd intervalului ori de cîte ori variabila X ia o valoare aparținînd unui interval dat [102].

În acest sens se caută mai întîi legea de distribuție pe care o respectă variabila Y atunci cînd variabila X ia valoarea determinată $X = x$. Fie

$$f(y, x, \alpha, \beta, \gamma, \ldots) \tag{6.53}$$

funcția de frecvență pe care o urmează variabila Y atunci cînd X ia valoarea $X = x$, unde α, β, γ sînt parametri necunoscuți, iar x poate fi considerat ca un parametru și ca atare nu este necesar să fie o variabilă întîmplătoare. Astfel, din punct de vedere al variabilei X, în analiza regresiei, se pot întîlni următoarele situații:

a) X reprezintă o variabilă întîmplătoare;

b) X ia valori dinainte fixate sau necunoscute; pentru fiecare valoare dinainte fixată a lui X, variabila Y ia valorile $y_1, y_2, \ldots, y_m$;

c) X ia valorile care variază într-un interval dinainte fixat;

d) fiecărei valori dinainte fixate a variabilei X îi [corespunde o singură valoare a variabilei Y.

Se observă că, în analiza regresiei, una din variabile se consideră independentă, iar cealaltă dependentă. Să presupunem că X reprezintă variabilă independentă, iar Y variabilă dependentă și că pentru fiecare $X = x$ variabila Y are o distribuție normală cu media $M[y|x]$ și dispersia $D[y|x]$, unde $M[y|x]$ reprezintă o funcție de x și depinde liniar de parametrii α, β, γ, ..., adică

$$M[y|x] = f(x, \alpha, \beta, \gamma, \ldots); \tag{6.54}$$

dispersia $D[y|x] = \sigma^2$ este constantă și nu depinde de x. Parametrii α, β, γ, ... și σ^2 sînt necunoscuți și deci ei trebuie estimați pe baza datelor cercetării.

Reprezentarea grafică a datelor cercetării ne permit să stabilim tipul funcției $f(x, \alpha, \beta, \gamma, \ldots)$.

Scanned with OKEN Scanner

Curba care va trece prin cele k puncte ce au drept coordonate perechile $(x_i, \bar{y}_i)$ reprezintă curba de regresie teoretică. Reprezentarea grafică astfel stabilită are un rol deosebit în alegerea tipului funcției, deoarece practic este aproape imposibil să găsim ecuația curbei de regresie teoretică și, ca urmare, se caută o estimare a acesteia care să fie cît mai aproape de curba teoretică.

Pe baza reprezentării grafice se alege tipul funcției și apoi se determină valorile parametrilor α, β, ..., astfel încît curba empirică de regresie să se apropie cît mai mult de punctele $(x_i, \bar{y}_i)$. O astfel de estimare a parametrilor se obține aplicînd metoda celor mai mici pătrate, care constă în minimizarea sumei

$$S = \sum_{i=1}^{k} \sum_{v=1}^{n_i} [y_{iv} - f(x_i, \alpha, \beta, \ldots)]^2 \qquad (6.55)$$

în care $[y_{iv} - f(x_i, \alpha, \beta, \ldots)]$ reprezintă diferențele măsurate pe verticală, dintre valorile observate și valorile corespunzătoare de pe curba de regresie empirică. Estimațiile $a, b, c, \ldots$ obținute pentru parametrii $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$ se bucură de proprietățile: mediile lor $M[a]$, $M[b]$, ... sînt egale cu parametrii teoretici α, β, ..., iar dispersiile lor sînt minime.

Un exemplu de aplicație a corelației simple l-am realizat în colaborare cu specialiști din Institutul de cercetări metalurgice (I.C.M.) și Combinatul de oțeluri speciale de la Tîrgoviște [57] asupra fragilității oțelurilor electrotehnice cu 3% Si, în scopul stabilirii cauzelor reale ce duc la fragilitatea ridicată a oțelului silicios în timpul prelucrării la rece.

Lucrarea de cercetare a urmărit, în primul rînd, stabilirea zonei de trecere ductil-fragil pentru oțelul cu 3% Si și a principalilor factori care determină ruperea fragilă, urmînd apoi stabilirea influenței incluziunilor nemetalice asupra fragilității.

Cercetările au fost efectuate pe probe prelevate din sleburi de la Combinatul siderurgic din Galați și din banda laminată la cald de C.O.S. Tîrgoviște și pe parametrii tehnologici culeși din cele două combinate, investigațiile asupra probelor executîndu-se pe instalații de laborator ca: microscop optic și electronic, microsondă electronică etc.

Corelația simplă în acest caz se referă la influența conținutului de siliciu asupra plasticității benzii laminate la cald, materializată prin numărul de îndoiri alternante. Pe baza datelor obținute la calculator a fost stabilită corelația prezentată în fig. 6.9, care arată că pentru obținerea unor îndoiri alternante bune este necesar ca conținutul de siliciu să fie limitat la 3,2% maximum.

Analiza corelației multiple s-a făcut pe baza unei metode matematice care a permis determinarea coeficientului de corelație multiplă a unui indicator față de un grup de 4 indicatori.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

Îndoiri = F(%Si)
Nr. valori : 214 Coef. corelație : 0.37

Probabilitatea (%)	Prag semnificație	Interv. încred.	Coef. corel.
95.0	0.195	-0.253	0.484
99.0	0.254	0.213	0.515
99.9	0.321	0.165	0.551

	Media	Abat.	Val. min.	Val. max.	Test normalitate
X	324.66	24.23	250.00	398.00	DA
Y	4.78	5.29	0.10	20.00	NU

Ecuația curbei de regresie: Y = -0.61609E-01 X + 0.31280E+02
Abatere P.M.C.R. 4.90
Îndoiri Factor scală : 1.00

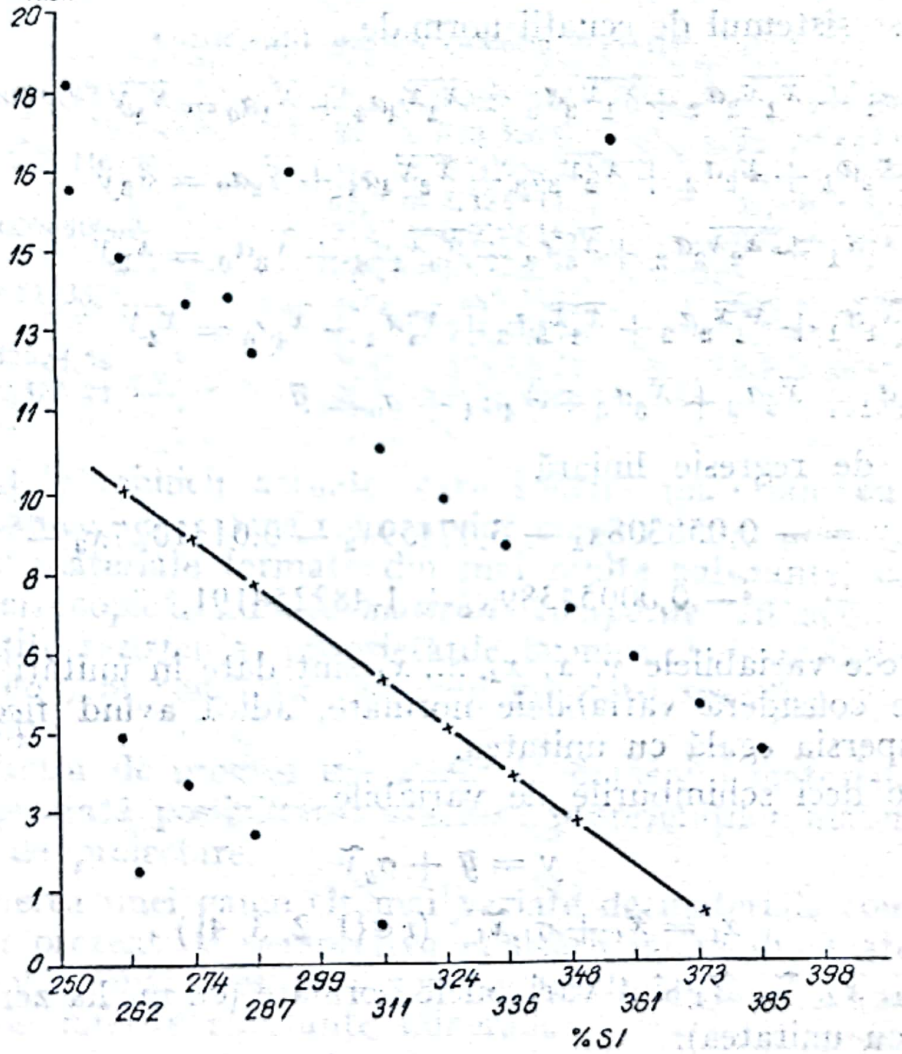


Fig. 6.9. Influența conținutului de siliciu asupra plasticității benzii laminate la cald (grafic corelație simplă).

S-a putut astfel stabili ecuația de regresie liniară prin care se pune în evidență gradul de dependență al caracteristicii apreciative y (numărul de îndoiri) față de un grup x de 4 factori de influență avînd următoarea semnificație: x_1 — procentul de carbon; x_2 — procentul de siliciu; x_3 — temperatura din caja finisoare 7 și x_4 — temperatura de rulare.

Această ecuație are forma

$$y \simeq a_1x_1 + a_2x_2 + a_2x_3 + a_4x_4 + a_0 \tag{6.56}$$

astfel încît avem

$$\Sigma(y^{(i)} - a_1x_1^{(i)} - a_2x_2^{(i)} - a_3x_3^{(i)} - a_4x_4^{(i)} - a_0) = \text{minim} \tag{6.57}$$

obținîndu-se sistemul de ecuații normale

$$\begin{aligned}
&\overline{x_1^2}a_1 + \overline{x_1x_2}a_2 + \overline{x_1x_3}a_3 + \overline{x_1x_4}a_4 + \overline{x}_1a_0 = \overline{x_1y} \\
&\overline{x_1x_2}a_1 + \overline{x}_2a_2 + \overline{x_2x_3}a_3 + \overline{x_2x_4}a_4 + \overline{x}_2a_0 = \overline{x}_2y \\
&\overline{x_3x_1}a_1 + \overline{x_2x_3}a_2 + \overline{x_3^2}a_3 + \overline{x_3x_4}a_4 + \overline{x}_3a_0 = \overline{x_3y} \\
&\overline{x_4x_1}a_1 + \overline{x_4x_2}a_2 + \overline{x_4x_3}a_3 + \overline{x_4^2}a_4 + \overline{x}_4a_0 = \overline{x_4y} \\
&\overline{x}_1a_1 + \overline{x}_2a_2 + \overline{x}_3a_3 + \overline{x}_4a_4 + a_0 = \overline{y}
\end{aligned} \tag{6.58}$$

și ecuația de regresie liniară

$$\begin{aligned}
y = &- 0{,}058308x_1 - 3{,}07459x_2 - 0{,}0141027x_3 - \\
&- 0{,}00054389x_4 + 1{,}482254191.
\end{aligned} \tag{6.59}$$

Deoarece variabilele y, x, x_2, ..., x_4 sînt date în unități de măsură diferite, se consideră variabilele normate, adică avînd fiecare media zero și dispersia egală cu unitatea.

Se fac deci schimburile de variabile

$$\begin{aligned}
y &= \overline{y} + \sigma_y\tilde{y} \\
x_i &= \overline{x}_i + \sigma_{x_i}\tilde{x}_i \quad (i \in \{1, 2, 3, 4\})
\end{aligned} \tag{6.60}$$

unde $\tilde{y}$, $\tilde{x}_1$, $\tilde{x}_2$, $\tilde{x}_3$, $\tilde{x}_4$ sînt variabilele normate (cu media zero și dispersia egală cu unitatea).

Se obține ecuația

$$\begin{aligned}
\tilde{y} = &- 0{,}00059\,\tilde{x}_1 - 0{,}0989024\,\tilde{}_2 - 0{,}0365841\,\tilde{x} - \\
&- 0{,}003196\,\tilde{x}_4 + 29{,}39759
\end{aligned} \tag{6.61}$$

Scanned with OKEN Scanner

Concluziile rezultate sînt următoarele:

Numărul de ruperi scade în funcție de creșterea procentelor carbonului și siliciului, precum și cu creșterea temperaturii din caja finisoare și a temperaturii de rulare.

Dacă se notează influența siliciului cu 100%, atunci influența carbonului este de 0,6%, influența temperaturii din caja finisoare de 37%, iar influența temperaturii de rulare de 3,26%. Prin urmare, după conținutul de siliciu, factorul cel mai important asupra căruia trebuie concentrată atenția îl reprezintă temperatura din caja finisoare. Valoarea coeficienților pentru calculul regresiei liniare este redată în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2

Coeficienții pentru calculul regresiei liniare

$\bar{y} = 3{,}0662197$	$\bar{x}_1 = 0{,}0253034$	$\bar{x}_2 = 3{,}106645$
	$\bar{x}_3 = 923{,}5367$	$\bar{x}_4 = 621{,}61677$
$\sigma_y = 0{,}8271016$	$\sigma_{x_1} = 0{,}000835695$	$\sigma_{x_2} = 0{,}0263667$
	$\sigma_{x_3} = 2{,}124411$	$\sigma_{x_4} = 4{,}3543082$
$\bar{x}_1^2 = 0{,}000640962$	$\overline{x_1x_2} = 0{,}0786149$	$\overline{x_1x_3} = 0{,}0786149$
	$\overline{x_1x_4} = 15{,}72861$	
$\bar{x}_2^2 = 9{,}6519389$	$\overline{x_2x_3} = 2869{,}1353$	$\overline{x_2x_4} = 1931{,}1612$
	$\overline{x_2y} = 9{,}5276214$	
$\bar{x}_3^2 = 852924{,}56$	$\overline{x_3x_4} = 573929{,}07$	$\overline{x_2y} = 2832{,}3376$
$\bar{x}_4^2 = 386425{,}31$	$\overline{x_4y} = 1903{,}4947$	

Cerințele tehnicii actuale, care solicită materiale cu proprietăți fizico-mecanice superioare elementelor constituente, au condus la apariția unor materiale formate din mai multe substanțe, combinate la scară macroscopică, numite *materiale compozite*. În acest mod pot fi îmbunătățite rezistența, proprietățile termice și de izolație, reziliența, oboseala etc., în condițiile reducerii greutății specifice și a costurilor de fabricație.

Un factor de progres important în domeniul materialelor compozite îl reprezintă posibilitatea stabilirii proprietăților materialelor încă din faza de proiectare.

Obținerea unei game cît mai variate de materiale compozite este impusă în prezent de perspectiva epuizării unora din materiile prime convenționale, mai ales cele neregenerabile, precum și de rezervele limitate de diferite substanțe minerale.

Pînă în prezent s-au impus trei tipuri de materiale compozite, evidențiate în literatura de specialitate [17]:

— materiale compozite obținute prin înglobarea unor fibre într-un material-matrice. Fibrele sînt, de regulă, confecționate dintr-un material cu proprietăți superioare în comparație cu materialul-matrice, care

Scanned with OKEN Scanner

are rolul de a menține poziția fibrelor în structura de rezistență proiectată. Din această categorie fac parte materialele utilizate la structuri de nave și de avioane, carcase de rachetă etc.;

— materiale compozite stratificate. Din această categorie fac parte materialele sub formă de plăci sau straturi din diferite materiale obținute printr-un proces de laminare sau de tragere. Astfel, se obțin bimetalele, țevi din oțel obișnuit placate cu oțel inoxidabil rezistent la coroziune etc.;

— materiale compozite cu particule (particulate). Sînt materiale care au încorporate în matricea de bază granule dintr-un alt material. Exemplu: particule de carbură de wolfram în matrice de cobalt pentru supape foarte rezistente la coroziune și abraziune, carbură de titan în matrice de nichel sau cobalt pentru palete de turbine rezistente la temperaturi înalte etc.

Din punct de vedere mecanic materialele compozite sînt neomogene și anizotrope.

Materialele compozite întărite cu fibre nu prezintă o anizotropie generală, ele avînd în fiecare punct trei plane de simetrie. În schimb, materialul compozit sub formă de placă, realizat din lamine distincte dar izotrope, se comportă ca un corp anizotrop. Materialele compozite cu particule se prezintă ca un corp neomogen din punct de vedere mecanic.

În practica industrială proprietățile de anizotropie ale materialului compozit sînt valorificate prin utilizarea lor în direcțiile impuse de condițiile de exploatare.

La proiectarea unei plăci compozite se iau în considerare ecuațiile fiecărui strat (lamină) în parte, proprietățile fizico-mecanice ale laminei precum și orientarea acesteia.

În mod obișnuit ecuația ce exprimă lamina variază după o lege liniar-elastică-ortotropică de forma:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \\ \sigma_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{21} \dots \bar{Q}_{61} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} \dots \bar{Q}_{62} \\ \dots\dots\dots\dots \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} \dots \bar{Q}_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} \tag{6.62}$$

în care $\{\sigma\}$ reprezintă matricea coloană a tensiunilor, $\{\varepsilon\}$ matricea coloană a deformațiilor, iar $\{Q\}$ matricea 3×3 a rigidităților reduse. În elementele acestei din urmă matrice sînt cuprinse toate constantele caracteristice fibrelor matricei și orientării fibrelor.

De exemplu, pentru Q_{11} există relația

$$\bar{Q}_{11} = Q_{11} \cos^4 \theta + 2(Q_{11} + 2Q_{66}) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + Q_{22} \sin^4 \theta \tag{6.63}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care θ reprezintă unghiul de orientare al fibrelor, iar Q_{11} sînt constante caracteristice materialelor, avînd forma

$$Q_{11} = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}}; \tag{6.64}$$

E_1 reprezintă modulul de elasticitate al laminei în direcția fibrelor. La numărător poate interveni, după caz, fie E_2 — momentul de elasticitate într-o direcție transversală fibrelor, fie G_{12} — modulul de forfecare. ν_{12} și ν_{21} reprezintă coeficienții lui Poisson.

Pe baza raționamentului prezentat mai sus pentru o singură lamină, pot fi calculate ecuațiile globale, valabile pentru plăci din materiale compozite confecționate din n lamine orientate diferit avînd forma:

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A_{11} & A_{12}...A_{16} \\ A_{12} & A_{22}...A_{26} \\ \cdots & \cdots \\ A_{16} & A_{26}...A_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \\ \varepsilon_{xy}^0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} B_{11} & B_{12}...B_{16} \\ B_{12} & B_{22}...B_{26} \\ \cdots & \cdots \\ B_{16} & B_{26}...B_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} k_x \\ k_y \\ \\ k_{xy} \end{Bmatrix} \tag{6.65}$$

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} B_{11} & B_{12}...B_{16} \\ B_{12} & B_{22}...B_{26} \\ \cdots & \cdots \\ B_{16} & B_{26}...B_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_x^0 \\ \\ \varepsilon_{xy}^0 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} D_{11} & D_{12}...D_{16} \\ D_{12} & D_{22}...D_{26} \\ \cdots & \cdots \\ D_{16} & D_{26}...D_{66} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} k_x \\ k_y \\ \\ k_{xy} \end{Bmatrix}$$

în care N_x, N_y, N_{xy} reprezintă forțele în planul plăcii; M_x, M_y, M_{xy} momentele în planul plăcii; ε_x^0, ε_x^0 și ε_{xy}^0 deformațiile suprafeței mediane; k_x, k_y, k_z curburile acestei suprafețe.

Coeficienții A_{ij} reprezintă rigiditățile de întindere, B_{ij} rigiditățile de cuplare, iar D_{ij} rigiditățile de încovoiere. Aceste rigidități se pot obține cu ajutorul următoarelor formule

$$\{A_{ij}\} = \sum_{i=1}^{n} \{\bar{Q}_{ij}\}_i (Z_i - Z_{i-1}) \tag{6.66}$$

$$\{B_{ij}\} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \{\bar{Q}_{ij}\}_i (Z_i^2 - Z_{i-1}^2)$$

$$\{D_{ij}\} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^{n} \{\bar{Q}_{ij}\}_i (Z_i^3 - Z_{i-1}^3)$$

în care Z_i și Z_{i-1} reprezintă grosimea laminei i. B_{ij} poartă numele de rigidități de cuplare deoarece cuplează solicitările de întindere și de încovoiere.

Scanned with OKEN Scanner

Ecuaţiile constitutive globale pot fi folosite la proiectarea oricărui material compozit, prevăzîndu-se astfel modul de comportare al acestuia în timpul exploatării în condiţiile unor solicitări dinamice şi statice dintre cele mai complexe.

Dezavantajul metodei constă în determinările experimentale costisitoare şi dificile ale coeficienţilor numerici implicaţi în structura acestor ecuaţii, datorită apariţiei solicitărilor combinate.

Se înţelege că, indiferent de metoda de semifabricare aplicată, deosebit de importantă în alegerea materialului sau semifabricatului este corelarea calităţilor acestora cu caracteristicile pe care trebuie să le întrunească produsul fabricat la ieşirea din sistem.

Totodată proiectantul trebuie să prevadă şi să ţină seama de toate transformările pe care le suferă piesa în procesul de execuţie, inclusiv de modul cum se realizează montarea acesteia, care vor fi solicitările mecanice şi fluxul de forţe precum şi tipurile de solicitări pe care le va suferi piesa în timpul exploatării.

Prin urmare, definirea mulţimii de perechi intrare-ieşire ale sistemului se realizează prin stabilirea tipului de semifabricat pentru fiecare produs prevăzut în program în condiţiile adoptării unei anumite tehnologii de fabricaţie.

Analiza fluxurilor de ieşire din sistem, din punct de vedere al asemănării caracteristicilor tehnice şi al stabilităţii structurilor în vederea raţionalizării seriilor de fabricaţie, urmăreşte în principal adaptarea caracteristicilor constructive şi funcţionale ale produselor ce constituie sarcină de producţie, la cerinţele impuse pe de o parte de limitarea diversificării excesive, iar pe de altă parte de reglementările de unificare-tipizare.

Introducerea pe scară largă a *tipizării*, în paralel cu creşterea performanţelor, are efecte economice limitate în cazul seriilor mici. De aceea, studiul de unificare a sistemelor tehnologice, în scopul dezvoltării caracterului de serie mare şi de masă a producţiei, este orientat pe următoarele direcţii:

— crearea unor familii de produse cu un grad de înrudire cît mai ridicat;

— descompunerea produselor în părţi componente pentru a putea fi fabricate în afara sistemului tehnologic respectiv;

— unificarea constructivă pentru un număr maxim de piese.

În acest scop, cercetarea sistemică [25] a procesului de unificare-tipizare se realizează prin descompunerea sistemelor tehnologice pe produse şi părţi componente ale acestora şi unificarea acelora cu caracteristici funcţionale comune, parcurgîndu-se în acest sens următoarele etape:

— definirea corectă a sistemului tehnologic prin identificarea perechilor de intrare-ieşire corespunzătoare unei anume tehnologii;

Scanned with OKEN Scanner

— analiza structurii sistemului prin descompunerea sa în subsisteme și determinarea tuturor mijloacelor tehnice și relațiilor dintre acestea ce concură la desfășurarea procesului analizat;

— identificarea și echivalarea subsistemelor cu funcțiuni identice sau similare, prin eliminarea redundanțelor, concepîndu-se prin echivalare o singură familie pentru fiecare subsistem în parte;

— identificarea subsistemelor nespecifice ale sistemului considerat, respectiv a acelor subsisteme care au o funcționare identică, dar care sînt *comune* pentru mai multe sisteme diferite și care vor face obiect de studiu aparte, în vederea tipizării la un nivel superior de generalizare. Mulțimea mijloacelor tehnice respective ce ies din sfera sistemului nostru ca fiind comune pentru mai multe sisteme, poartă numele de *grupe de produse sau grupe de mașini.*

În final procesul de unificare-tipizare se încheie prin stabilirea unei „sisteme de mașini", care reprezintă structura *specifică minimală* a sistemului tehnologic proiectat.

Grupele de produse sau de mașini, numite și sisteme de gradul II față de sistemul tehnologic proiectat, numit sistem de gradul I, alcătuiesc *sistemele de bază ale raționalizării producției* de serie în industrie, deoarece prin apartenența comună la mai multe sisteme asigură o *creștere* a loturilor de fabricație în paralel cu creșterea progresului tehnic și a diversificării producției.

În figura 6.10 sînt exemplificate două sisteme tehnologice: exploatarea de minereuri la zi și lucrări de hidroameliorații.

Se observă că, pe măsură ce avansăm în descompunerea celor două sisteme, se ajunge într-un moment în care funcțiunile unora din subsisteme sînt nespecifice sistemului de apartenență, ele fiind însă identice cu funcțiunile sistemului învecinat, constituindu-se în grupe de produse sau mașini comune numite sisteme de gradul II. Aceste sisteme sînt marcate pe desen prin dreptunghiuri cu contur punctat.

Creșterea grupelor de mașini reflectă direct avantajul economic al abordării sistemice a tehnologiei de fabricație, deoarece prin specializarea unor întreprinderi noi din cadrul industriei constructoare de mașini în fabricarea unor grupe de produse sau de mașini cu caracter de repetabilitate se creează premisele unei adaptări mai bune a producției la cerințele ramurilor beneficiare, crescînd în același timp gradul de promptitudine în echiparea proceselor specifice cu utilaje mai bune și mai ieftine.

În concluzie, analiza sistemică pune în evidență nu numai interdependența internă dintre elementele unui sistem, dar și legăturile exterioare ale acestora cu alte elemente din structura unor sisteme

Scanned with OKEN Scanner

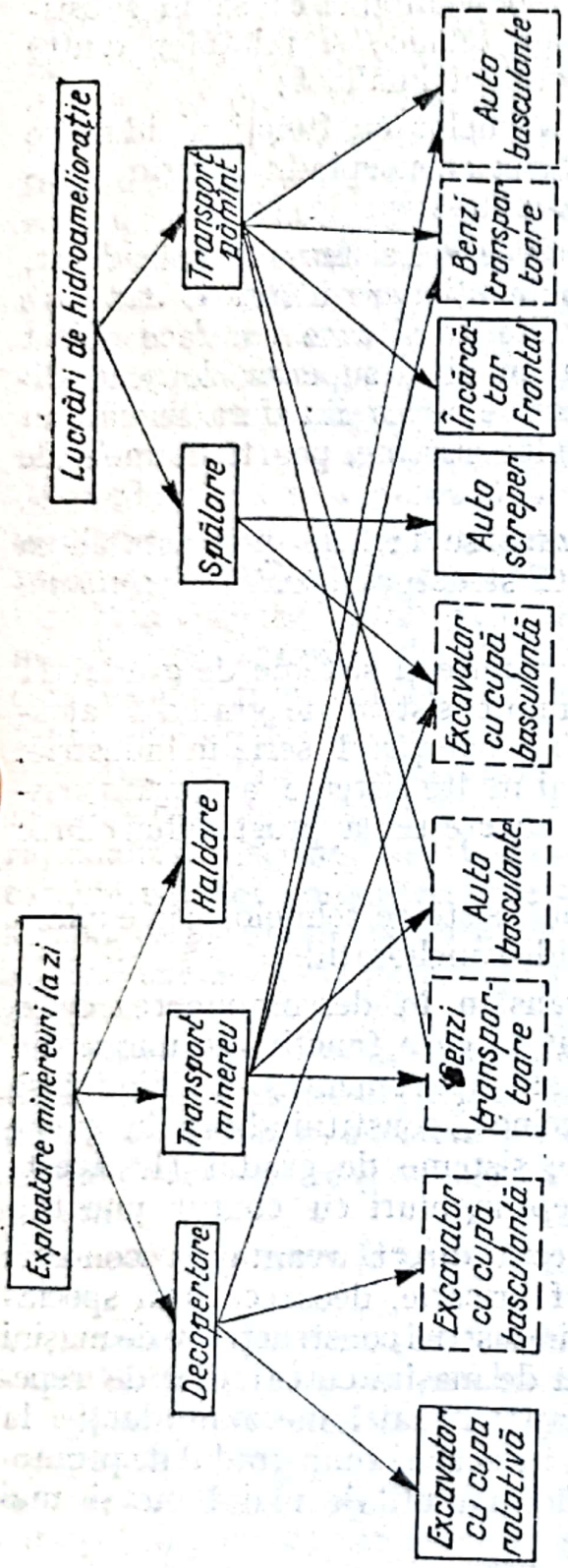


Fig. 6.10. Sisteme tehnologice: exploatare minereuri la zi și lucrări de hidroameliorații.

diferite, însă înrudite cu primul prin diferite funcțiuni comune. În acest mod se creează posibilitatea conceperii unor proiecte la care funcțiuni cît mai diferențiate să fie realizate cu un minimum de diversitate constructivă.

Indicatorul t_u, ce reflectă nivelul tehnic de înrudire constructivă a unui echipament tehnologic, este dat de formula

$$t_u = \frac{N_n}{N} \cdot 100 \ [\%] \qquad (6.68)$$

în care N_n reprezintă numărul de elemente componente, nespecifice sistemului considerat ce pot fi încadrate în categoria grupelor de produse sau de mașini, iar N numărul total de elemente componente ale sistemului considerat.

6.5.2 CONCEPȚIA MODULARĂ DE PROIECTARE CONSTRUCTIVĂ

Urmărind ideea unificării și tipizării tehnologiilor, expusă mai înainte, rezultă că tipizarea constructivă poate fi aplicată în momentul cînd obiectul proiectat a trecut din faza de utilaj specific în grupa de produse, deci cînd avem de proiectat nu un unicat, ci o mulțime de mașini sau utilaje înrudite prin funcțiuni comune.

În construcția de mașini s-au impus în mod deosebit două tipuri de înrudire: familiile de produse și seriile unitare, prin promovarea cărora se obține o limitare a diversificării.

Familiile de produse reprezintă o mulțime de produse care, prin ana-

Scanned with OKEN Scanner

logie antropologică, pot fi considerate a fi înrudite între ele printr-un parametru de formă sau substructură comun, ce se regăsește în mod identic la anumiți membrii ai familiei.

Astfel, familia de tractoare de 45 CP reprezintă diversitatea tractoarelor de această putere ce se folosesc în diferite domenii (industrie, construcții, agricultură etc.) care au caracteristica comună a grupului motor de 45 CP.

Seriile unitare reprezintă o parte a unei familii înrudită prin repetarea pe verticală a aceleiași construcții la o scară diferită, ce cuprinde produse ale căror caracteristici de bază diferențiate sînt ordonate într-un șir parametric sau dimensional (capacitate, putere, gabarit etc.). Astfel, seria unitară a strungurilor paralele cu înălțimea vîrfurilor de 200 mm cuprinde trei tipodimensiuni de strunguri ce se deosebesc între ele prin distanța între vîrfuri de 1000, 1500 și respectiv 2000 mm.

Aplicarea concepției modulare urmărește realizarea unor produse cu flexibilitate ridicată, raționale din punct de vedere tehnic și rentabile sub aspect economic, prin utilizarea principiului înrudirii constructive.

Concepția modulară în construcția de mașini reprezintă concepția de realizare a unor familii de produse, ai căror membri să fie constituiți din ansamble componente identice. Modulul reprezintă în acest caz un sistem de gradul II, cu funcțiune bine definită, alcătuind un obiect fizic independent. Complexitatea unui modul poate fi foarte redusă, cum ar fi aceea a unui organ de mașină elementar sau o grupă assurică din componența unui mecanism, sau foarte complexă cum ar fi un aparat, o mașină, un robot etc. (v. § 2.5). Esențial este ca modulele respective să facă parte dintr-o mulțime de elemente înrudite între ele prin anumite trăsături comune.

Identificarea acelor module care concură la realizarea celor mai variate mașini și utilaje, printr-o abordare dihotomică, reprezintă calea de conciliere a dilemei „diversificare-unificare". Un exemplu tipic în aplicarea acestei metode îl reprezintă, în societatea modernă, procedeul de diversificare a autoturismelor. Un avantaj important al construcției modulare în domeniul mașinilor de producție se obține prin refolosirea subansamblelor constructive interșanjabile, pentru proiectarea unei noi linii tehnologice de transfer la încheierea unui anumit program de fabricație. Astfel, au fost concepute mașinile-unelte agregat pe principiu modular (v. § 7.4), care înlocuiesc în mod eficient atît mașinile-unelte universale, cît și mașinile-unelte specializate, îmbinînd pe această cale avantajele celor două categorii de mașini: prelucrarea unei game largi de piese și, respectiv, realizarea unei productivități și precizii ridicate.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a evidenția gradul de concepere a unui produs sau grupă de produse după principiile construirii pe bază de module, în proiectarea mașinilor-unelte se folosesc doi indicatori mai importanți — gradul de refolosire G_r și gradul de tipizare G_t

$$G_r = \frac{r}{n+r} \cdot 100 \ [\%] \tag{6.69}$$

$$G_t = \frac{t}{R} \cdot 100 \ [\%] \tag{6.70}$$

în care r reprezintă numărul de repere (subansambluri) refolosite în noua construcție de la produsele anterioare, n numărul de repere (subansambluri) noi introduse în proiect, t numărul de piese (subansambluri) tipizate, R numărul total de piese (subansambluri) din componența produsului.

În vederea creșterii loturilor de fabricație, la nivelul fiecărui reper lansat în producție, se au în vedere următoarele elemente de analiză:

a) Identificarea corectă a reperului din următoarele puncte de vedere:

— stabilirea funcției pe care o are reperul în cadrul ansamblului din care face parte (mașină, instalație etc.);

— determinarea precisă a poziției de funcționare;

— stabilirea raporturilor reciproce ale piesei cu celelalte piese ale ansamblului din care face parte.

b) Studiul tehnologic al reperului, care constă din:

— stabilirea materialului din care se realizează reperul și a posibilităților de înlocuire cu alte materiale;

— analiza tehnologiei de fabricație, inclusiv eventualele tratamente termice și rugozitatea suprafețelor.

c) Studiul formelor geometrice ale piesei din următoarele puncte de vedere:

— determinarea formei geometrice de bază (principală) în corelație cu celelalte repere înrudite și cu tehnologia de fabricație adoptată;

— determinarea celorlalte forme geometrice ale reperului în concordanță cu forma geometrică de bază aleasă;

— analiza formei funcționale a reperului, ce rezultă din completarea formelor principale cu elemente auxiliare rezultate din prelucrare, ca de exemplu filete, canale de pană etc.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 7

AUTOMATIZAREA MAȘINILOR-UNELTE PENTRU PRODUCȚIA DE SERIE MARE ȘI DE MASĂ

Este cunoscut că esența revoluției tehnico-științifice contemporane o reprezintă automatizarea, dar nu automatizarea ca fenomen, deoarece ea s-a realizat încă în deceniile precedente, ci dinamica automatizării în direcția creșterii performanțelor de flexibilitate, cu extindere în toate ramurile economice, inclusiv în zona producției în loturi a seriilor mici, ca particularitate a industriei constructoare de mașini.

Dintre toate sistemele tehnice de producție, mașinile-unelte au înregistrat cea mai semnificativă evoluție în acest sens. Punctul de plecare a fost marcat de apariția, pentru prima oară în industrie, a diviziunii muncii în paralel cu specializarea locurilor de muncă pe operații individuale elementare, ceea ce a implicat dezvoltarea primelor mașini monooperații, a căror deservire nu necesita o calificare deosebită. Cu timpul a apărut tot mai pregnant faptul că mărirea productivității muncii numai pe seama micșorării timpilor de bază ai mașinii nu este satisfăcătoare, deoarece posibilitatea de mărire a vitezelor și a forțelor de așchiere era limitată atît de construcția mașinii, cît și de posibilitățile așchietoare ale sculei așchietoare. De aici a rezultat necesitatea reducerii la minim a timpilor auxiliari, printr-o centralizare maximă a comenzilor și automatizarea treptată a operațiilor de lucru elementare, stimulîn-

Scanned with OKEN Scanner

du-se pe această cale o creștere considerabilă a productivității în domeniul producției de serie mare și de masă.

Metoda obișnuită în proiectarea unui astfel de proces tehnologic automatizat se bazează pe descompunerea mai întîi a procesului într-o succesiune de „operații", „faze" și „mînuiri", urmată de elaborarea mijloacelor tehnice necesare înlocuirii muncii manuale prin operații automate corespunzătoare operațiilor subdiviziunilor respective.

Întrucît fiecare dintre elementele componente ale procesului realizează cîte o funcție de execuție, de manevrare sau auxiliară care se pretează mai mult sau mai puțin a fi realizată fără contribuția omului, orice proiect se oprește la o anumită treaptă „optimă" de automatizare.

De exemplu, alimentarea unei mașini-unelte cu piese sau material reprezintă o operație auxiliară foarte complexă în care se pot distinge patru faze:

— aducerea și așezarea piesei (barei etc.) în dispozitivul de prindere a acesteia;

— fixarea (prinderea) piesei pentru a putea fi prelucrată;

— desprinderea piesei din dispozitiv;

— eliminarea piesei de pe mașina-unealtă.

În cazul mecanizării și automatizării acestei operații de alimentare apar însă un număr mult mai mare de faze, care, dacă nu se trece la robotizarea operației, se execută de mecanisme independente, cu acțiune coordonată pentru efectuarea lor după un program stabilit dinainte. Acestea pot fi împărțite la rîndul lor în trei grupe de mecanisme distincte pentru realizarea următoarelor faze:

— aducerea și așezarea pieselor (barelor etc.);

— fixarea (prinderea) piesei;

— eliminarea piesei de pe mașina-unealtă.

Fiecare din cele trei grupe de mecanisme trebuie să efectueze la rîndul lor un număr de faze proprii specifice (subfaze) determinate de caracteristicile de formă ale piesei, precum și de caracteristicile funcționale ale mecanismelor respective. Totodată trebuie luat în considerare sistemul de acționare a acestor mecanisme, care necesită lanțuri cinematice auxiliare specifice.

În funcție de greutatea și forma pieselor există o foarte mare varietate de metode de alimentare a mașinilor-unelte.

Alimentarea mașinilor-unelte cu piese de greutate mijlocie, de exemplu, se poate face astfel:

— așezarea și fixarea manuală pe masa mașinii sau într-un dispozitiv al acesteia (universal, între vîrfuri etc.) sau într-un dispozitiv construit special pentru piesa și mașina-unealtă respectivă. Eliminarea piesei prelucrate se realizează tot manual, prin operații inverse;

Scanned with OKEN Scanner

— așezarea manuală în dispozitiv și fixarea mecanizată, comandată manual. Eliminarea piesei se realizează prin operații inverse, iar piesa se îndepărtează manual;

— alimentarea automată din depozit (magazin, casetă sau eventual de pe un transportor) cu comandă programată. Eliminarea piesei, în acest caz, se face de asemenea automat pe un transportor (jgheab, lanț etc.).

Evaluarea gradului de automatizare a unei mașini-unelte după criteriul privind ponderea participării omului la procesul de producție poate fi făcută după formula

$$A = \frac{T_m - T_0}{T_m} \tag{7.1}$$

în care A reprezintă gradul de automatizare, T_m timpul de participare a mașinii-unelte la prelucrarea unei piese și T_0 timpul de participare a omului la prelucrarea unei piese.

Din expresia (7.1) rezultă următoarele două cazuri limită:

1) $T_0 = T_m$ pentru care $A = 0$ și 2) $T_0 = 0$ pentru care $A = 1$. Acestea reprezintă cazuri particulare. Se disting de asemenea și două cazuri generale și anume: $T_0 > T_m$ pentru care A ia valori negative și $T_0 < T_m$ pentru care $0 < A < 1$. Deoarece raportul $T_0/T_m = a$ poate lua valori mai mari decît 1, rezultă că în cazul general, gradul de automatizare se definește în intervalul $0 \leqslant A \leqslant 1$.

În funcție de gradul de automatizare mașinile-unelte se împart în mașini neautomate, semiautomate și automate după cum urmează:

— mașina-unealtă neautomată este aceea al cărei grad de automatizare este $A \leqslant a$, iar $a > 1$;

— mașina-unealtă automată este aceea al cărei grad de automatizare este $A = 1$, deci $a = 0$;

— mașina-unealtă semiautomată (automatizată) este aceea al cărei grad de automatizare este $0 < A < 1$, pentru care $1 > a > 0$.

Mașinile-unelte automate, caracteristice etapei de automatizare a producției de serie mare și de masă, pot fi grupate după forma constructivă și specificul tehnologic al reperelor în două categorii:

a) strunguri automate monoaxe și multiaxe pentru piesele a căror geometrie admite o axă de rotație (arbori, axe, bucșe, discuri, inele etc.);

b) mașinile-agregate și liniile automate pentru piesele tip cutie sau carcasă, a căror tehnologie dominantă o constituie prelucrarea găurilor și suprafețelor plane.

Automatizarea acestor mașini se bazează pe folosirea sistemelor de comandă rigide.

Sistemele de comandă automate *rigide* se caracterizează prin faptul că succesiunea și durata semnalelor de comandă sînt determinate precis

Scanned with OKEN Scanner

(rigid), *în prealabil* și nu depind de valoarea reală a mărimii comandate. Mașinile-unelte automatizate pe baza acestui sistem (automatizate clasic) au o bună fiabilitate, însă prezintă inconvenientul că la trecerea de la prelucrarea unei piese la prelucrarea piesei următoare (cu caracteristici constructive diferite) este necesar un timp relativ mare pentru schimbarea programului, motiv pentru care nu sînt eficiente în producția de serie mică și unicate.

Sistemele de automatizare rigide pot fi împărțite în sisteme *temporale*, sisteme *secvențiale* și sisteme de automatizare *mixte* (temporale și secvențiale).

Sistemele rigide temporale sînt caracterizate prin aceea că succesiunea semnalelor de comandă este determinată de timpul programat rigid pe profilul camelor sau este fixat prin reglarea unor relee de timp.

Avantajul principal al acestor sisteme temporale este reprezentat de posibilitatea de a suprapune realizarea unor faze, ceea ce face ca timpul total de prelucrare a unei piese să fie mai mic și, ca urmare, productivitatea efectivă a mașinii-unelte să crească (v. § 6.2.9).

Din punct de vedere tehnic, sistemele temporale prezintă dezavantajul că, prin structura lor, ele nu permit controlul executării comenzilor și, ca urmare, în cazul cînd o fază oarecare nu s-a efectuat, fazele următoare se desfășoară normal, conform programului stabilit, putînd conduce la defectarea mașinii-unelte.

Sistemele de automatizare rigide secvențiale se caracterizează prin aceea că o secvență oarecare nu poate începe decît la sfîrșitul secvenței precedente. Din punct de vedere economic, imposibilitatea suprapunerii secvențelor, conduce la o valoare maximă a timpului total de prelucrare și prin urmare la o productivitate efectivă minimă (datorită micșorării coeficientului de productivitate η_{con}, v. §. 6.2.5). Acest dezavantaj este compensat însă de faptul că, prin structură, ele permit efectuarea controlului executării comenzilor și deci, dacă una dintre secvențe nu s-a realizat, mașina se oprește în mod automat. Aceste sisteme sînt utilizate frecvent la mașinile-unelte automate, inclusiv la cele cu comandă numerică. Din punct de vedere al mijloacelor pentru realizare se folosesc sisteme electrice, electrohidraulice, pneumatice etc.

7.1. SISTEME DE AUTOMATIZARE RIGIDE TEMPORALE

Sistemele de automatizare rigide temporale pot fi împărțite în: sisteme care controlează o singură turație la arborele de comandă (grupa I-a de automatizare); sisteme care controlează două turații la arborele

Scanned with OKEN Scanner

de comandă (grupa a II-a); sisteme care controlează o singură turație lentă la arborele de comandă, dar și cu un arbore auxiliar cu turație rapidă (grupa a III-a); sisteme de automatizare fără came.

7.1.1. SISTEME DE AUTOMATIZARE TEMPORALE CARE CONTROLEAZĂ O SINGURĂ TURAȚIE LA ARBORELE DE COMANDĂ (GRUPA I-a DE AUTOMATIZARE)

După cum rezultă din schema cinematică structurală din fig. 7.1, întîlnită în mod curent la strungurile automate monoax de profilat precum și la alte mașini de lucru, mecanismele cu camă în acest caz cumulează atît funcția de comandă cît și funcția de acționare.

Mișcarea este transmisă de la motorul M la lanțul cinematic principal prin intermediul unui element reglabil (roțile de schimb A/B), precum și la lanțul cinematic de comandă și avans prin elementul reglabil C/D. Pe arborele de comandă (ac) se găsesc un număr de came (K_i) egal cu numărul de sănii transversale (ST_i) ale strungului automat.

Execuția unei piese are loc la o rotație completă a arborelui de comandă. Cuplajul C_1 este acționat manual la oprirea ciclului de lucru sau în timpul reglării strungului.

La strungurile din grupa I-a, dotate cu sisteme de automatizare ca cel reprezentat în fig. 7.1, între timpul de lucru necesar fazelor de așchiere (t_a) și timpul necesar fazelor auxiliare (t_I) se pot scrie relațiile

$$t_I = kt_a \tag{7.2}$$

$$k = \frac{\beta}{\alpha} \tag{7.3}$$

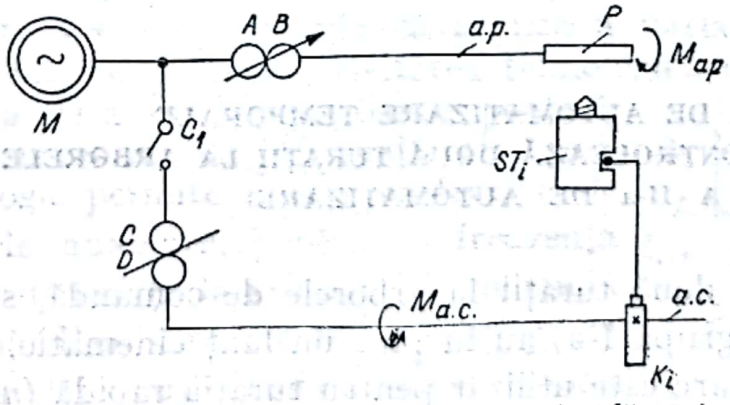


Fig. 7.1. Schema cinematică structurală a sistemului de automatizare care controlează o singură turație la arborele de comandă (grupa I).

Scanned with OKEN Scanner

în care $\alpha = \sum \alpha_i$ suma unghiurilor fazelor de lucru și $\beta = \sum \beta_i$ suma unghiurilor fazelor auxiliare ($\alpha + \beta = 360°$).

Relația (7.2) limitează utilizarea sistemului de automatizare numai la acele mașini-unelte automate care prelucrează piese relativ simple avînd timpi de lucru cu valori mici.

Prelucrarea pieselor cu timpi mari de operație conduce la o productivitate mică, deoarece, conform relației (7.2), timpul auxiliar (t_I) devine și el mai mare.

Productivitatea strungurilor automate din această grupă este dată de relația

$$Q_{t_I} = Q_{teh}\left(1 - \frac{\beta_I^0}{360}\right) \quad [\text{buc./min}] \tag{7.4}$$

în care Q_{t_I} reprezintă productivitatea teoretică a strungurilor din grupa I-a (buc/min); $Q_{teh} = \frac{1}{t_a}$ productivitatea tehnologică (v. § 6.2.3) și β_I^0 suma unghiurilor corespunzătoare fazelor auxiliare pentru automatizarea cu o singură turație la arborele de comandă (grupa I).

În figura 7.2 este redat graficul productivității (Q_{t_I}) în funcție de productivitatea tehnologică (ideală), în care limitele de utilizare fixate prin punctele A și B sînt determinate de limita minimă admisibilă a productivității teoretice (Q_{t_A}) și de elementele constructive ale mașinii-unelte (Q_{t_B}).

7.1.2. SISTEME DE AUTOMATIZARE TEMPORALE CARE CONTROLEAZĂ DOUĂ TURAȚII LA ARBORELE DE COMANDĂ (GRUPA A II-a DE AUTOMATIZARE)

Sistemele cu două turații la arborele de comandă, spre deosebire de sistemele din grupa I-a, au în plus un lanț cinematic, cu raport de transmitere fix, care este utilizat pentru turația rapidă (n_r) a arborelui de comandă (fig. 7.3). Ca urmare, crește productivitatea strungurilor automate, deoarece se micșorează timpul de executare a fazelor auxiliare

Scanned with OKEN Scanner

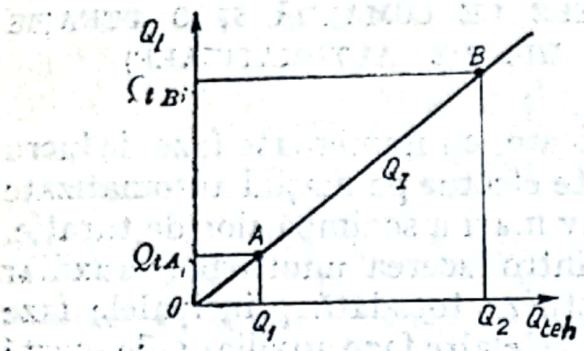


Fig. 7.2. Diagrama productivității sistemelor din grupa I de automatizare.

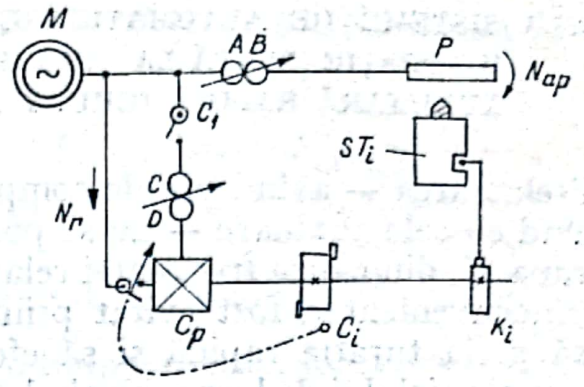


Fig. 7.3. Schema cinematică structurală a sistemului de automatizare care controlează două turații la arborele de comandă (grupa II).

și deci crește coeficientul de continuitate η_{con}. Creșterea coeficientului de continuitate (v. § 6.2.9) conduce la folosirea intensivă a performanțelor constructive și funcționale ale mașinii.

Turația rapidă se obține prin realizarea antrenării cuplajului C_p la un impuls de comandă dat de cama C_i. Totodată, pentru ca arborele de comandă să primească oricînd schimbarea turației sale, s-a introdus un cuplaj de depășire (C/D).

În acest caz, timpul necesar pentru fazele auxiliare nu mai depinde de timpul de lucru (de operație), ci rămîne constant, determinîndu-se cu relația

$$t_{III} = \frac{\beta_{II}}{2\pi n_r} \qquad (7.5)$$

iar productivitatea Q_{tIII} se calculează cu formula (6.6).

În figura 7.4 este prezentarea grafică a variației productivității teoretice în funcție de productivitatea tehnologică (ideală).

Grupa a II-a de automatizare poate fi aplicată cu succes numai în situația cînd procesul tehnologic permite separarea fazelor de lucru de cele auxiliare, pentru ca frecvența schimbărilor de turații la arborele de comandă să fie minimă. Realizarea acestor condiții poate fi întîlnită la strungurile semiautomate monoax (strungurile semiautomate multicuțite) și la strungurile semiautomate multiax verticale.

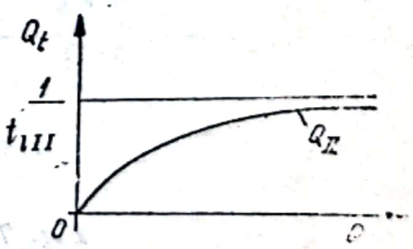


Fig. 7.4. Diagrama productivității sistemelor din grupa II de automatizare.

7.1.3. SISTEME DE AUTOMATIZARE TEMPORALE CARE CONTROLEAZĂ O TURAȚIE LENTĂ LA ARBORELE DE COMANDĂ ȘI O TURAȚIE AUXILIARĂ RAPIDĂ (GRUPA A III-a DE AUTOMATIZARE)

Prelucrarea — avînd profile complicate, cu numeroase faze de lucru alternînd cu cele auxiliare — nu se poate efectua pe mașini automatizate din grupa II, din cauza frecvenței relativ mari a schimbărilor de turație. Acest inconvenient a fost evitat prin introducerea unui arbore auxiliar care să preia turația rapidă și să efectueze totodată principalele faze auxiliare ale ciclului de lucru, urmînd ca celelalte faze auxiliare, de scurtă durată, împreună cu toate fazele de lucru să fie efectuate cu turația lentă de lucru a arborelui de comandă. Aplicarea acestui sistem la strungurile automate revolver la care, cu ajutorul turației rapide a arborelui auxiliar, se execută în mod curent faze auxiliare (rotirea capului revolver, avansarea și strîngerea materialului etc.) a dat rezultate dintre cele mai bune.

Din figura 7.5 rezultă că schema structurală a acestor sisteme de automatizare se compune din lanțul cinematic principal, care — pe lîngă roțile de schimb A/B — este prevăzut cu o cutie de viteze (C_v), lanțul cinematic de comandă și avans, alcătuit din arborele de comandă (ac) cu elementul reglabil C/D și un arbore auxiliar (aa) de la care se preia mișcarea rapidă prin intermediul unor cuplaje semiautomate (C_{SA}) și care primesc la rîndul lor semnalul de comandă de la camele de impuls (C_i).

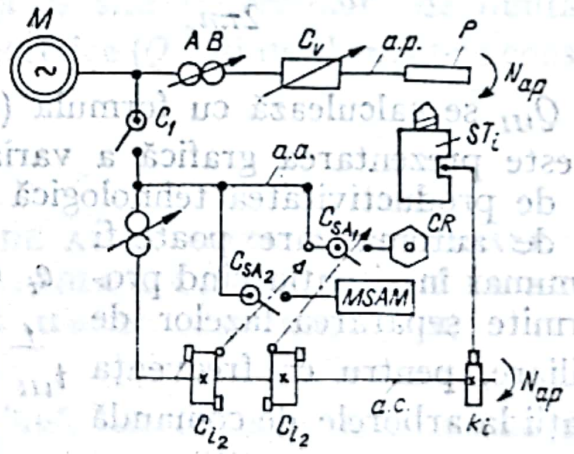


Fig. 7.5. Schema cinematică structurală a sistemelor de automatizare temporală care controlează o turație lentă la arborele de comandă și o turație auxiliară rapidă (grupa a III-a de automatizare).

Scanned with OKEN Scanner

Productivitatea ($Q_{t\,III}$) mașinilor din grupa III de automatizare rezultă din relația

$$Q_{t\,III} = \frac{Q_{teh}}{Q_{teh} t_{t\,II} + 1}\left(1 - \frac{\beta_I}{2\pi}\right) \quad [\text{buc/min}] \tag{7.6}$$

în care Q_{teh} reprezintă productivitatea tehnologică (ideală) a mașinii-unelte $\left(Q_{teh} = \frac{1}{t_a} \text{ buc/min}\right)$, $t_{t\,II}$ timpul necesar fazelor auxiliare executate cu arborele auxiliar, β_I unghiul de rotație în grade al arborelui de comandă pentru fazele auxiliare.

În figura 7.6 este prezentată productivitatea sistemelor din grupa III de automatizare, comparativ cu graficele grupelor I și II. Din acest grafic rezultă că cea mai mare productivitate Q_t se poate obține cu ajutorul grupei I de automatizare dar numai pentru piese simple, care satisfac condiția: $Q_{teh} > Q_{teh\,C}$. Pentru piese complicate, având timp mare de lucru (adică pentru $Q_{teh} < Q_{teh\,A}$), grupa II de automatizare asigură cele mai mari valori ale productivității. Grupa a III-a de automatizare reprezintă o grupă intermediară recomandabilă pentru piese de complexitate medie, piese de complexitate cu Q_{teh} caracterizată prin inegalitatea

$$Q_{teh\,A} < Q_{teh} < Q_{teh\,C}. \tag{7.7}$$

În activitatea de atelier, limitele $Q_{teh\,A}$ și $Q_{teh\,C}$ au următoarele valori orientative: $Q_{teh\,A} = 1$, $Q_{teh\,C} = 10$ buc/min.

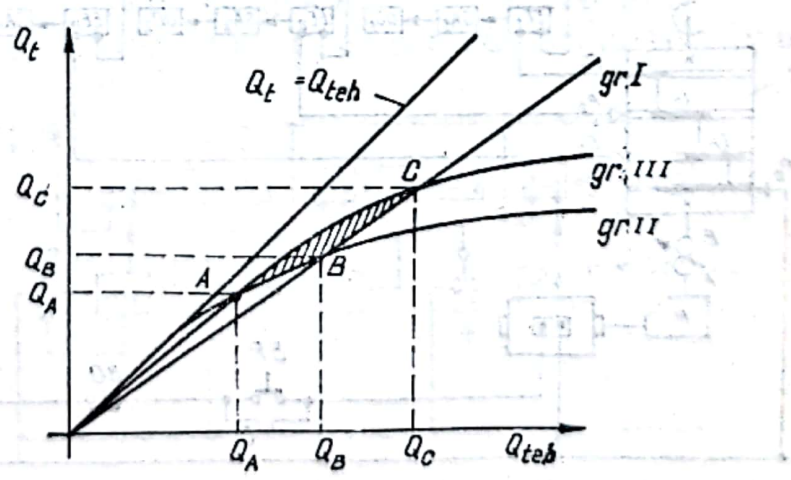


Fig. 7.6. Diagramele productivității celor trei sisteme de automatizare.

Scanned with OKEN Scanner

7.1.4. SISTEME DE AUTOMATIZARE RIGIDE TEMPORALE CU SEPARARE TOTALĂ A FUNCȚIEI DE COMANDĂ DE CEA DE ACȚIONARE

Noi perfecționări ale sistemelor de automatizare rigide temporale descrise mai înainte au fost făcute în direcția separării totale ale funcțiunilor de comandă de cea de acționare prin folosirea unor mijloace electrice, electronice sau pneumatice.

Din punct de vedere al modului de realizare ele pot fi centralizate sau descentralizate.

Un astfel de sistem *centralizat* este reprezentat în fig. 7.7, în care s-a notat cu AC echipamentul de comandă cu mișcare de rotație constantă (n_{AC}); M motorul de antrenare, R reductor de turații, A/B roțile de schimb pentru reglarea turației pentru AC, $p_1, ..., p_n$ perii, $l_1, ..., l_n$ lamele de lungimi diferite care împreună cu periile $p_1, ..., p_n$ mențin contacte la rețeaua electrică a elementelor de execuție un timp proporțional cu lungimea lamelelor, l_0 lamelă continuă pe toată lungimea cercului care, împreună cu peria p_0, menține continuu legătura electrică între conductorul pozitiv (+) și echipamentul de comandă AC; $EE_1, ..., EE_n$ elemente de execuție ale organelor elementare de comandă, $SA_1, ..., SA_n$ sistemele de acționare ale obiectelor comandate, $OC_1, ..., OC_n$ obiecte comandate, BP și BO butoane de pornire și respectiv de oprire.

În aceste condiții echipamentul de comandă (AC), avînd turație constantă, reprezintă de fapt aparatul care măsoară timpul, avînd, din acest punct de vedere, aceeași funcție ca și arborii de comandă ai sistemelor rigide temporale la care funcția de comandă este suprapusă pe funcția de acționare. În acest caz, cele două funcții sînt complet separate, funcțiile de comandă fiind materializate prin echipamentul

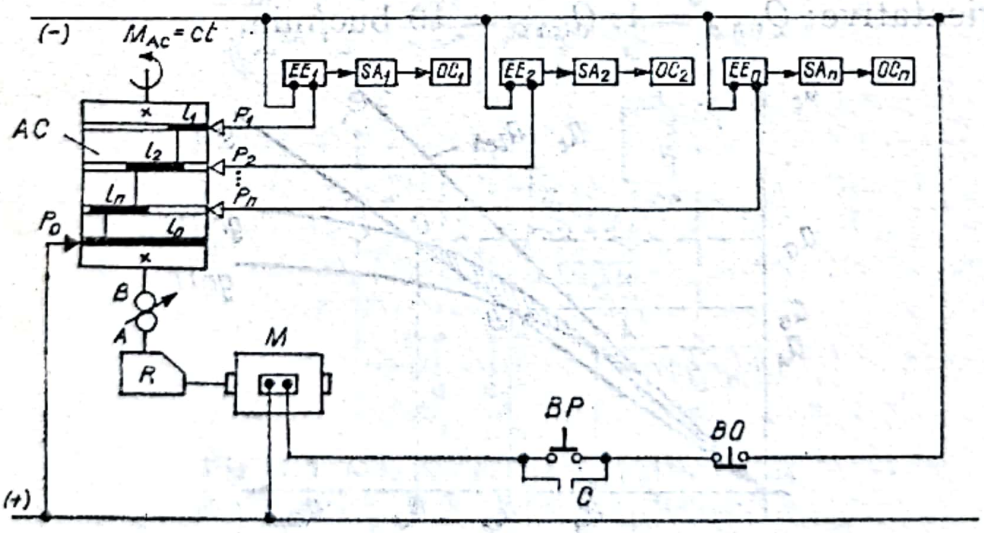


Fig. 7.7. Schema de principiu a sistemului de automatizare rigid, temporal centralizat.

Scanned with OKEN Scanner

de comandă cu lamelele l_i și periile p_i, precum și prin elementele de execuție EE_i. De remarcat că sistemul fiind temporal posedă avantajul tuturor acestor sisteme determinat de suprapunerea fazelor, ceea ce se realizează în fapt prin suprapunerea lamelelor l_i, astfel că, de exemplu, elementul de execuție EE_2 este conectat la rețea înainte de a se opri EE_1, deoarece peria p_2 ia contact cu lamela l_2 înainte ca peria p_1 să piardă contactul cu lamela l_1 ș.a.m.d.

Dezavantajul sistemelor temporale de a nu controla executarea comenzilor se remarcă și în acest caz, deoarece între sistemul de comandă al unui obiect comandat și sistemul de acționare al obiectului comandat precedent nu există nici o legătură.

În figura 7.8 este prezentat un sistem de automatizare temporal, *descentralizat*, cu separarea totală a funcțiilor de comandă și de acționare. Acestea au ca elemente componente principalele relee de timp RT_i ca aparate ce măsoară duratele fazelor. După apăsare pe butonul de pornire BP intră în funcțiune primul releu de timp RT_1, care în același moment conectează la rețea elementul de execuție EE_1 al primului organ elementar de comandă. Acesta pune în funcțiune sistemul de acționare SA_1 al obiectului comandat OC_1. După expirarea timpului reglat pe releul RT_1 pentru prima fază, releul de timp RT_1 dă comanda de deconectare a elementului EE_1 (săgeata cu traseu punctat sub BP) și, ca urmare, se produce oprirea obiectului comandat OC_1. Fiind sistem temporal de automatizare, se pot suprapune fazele, astfel că același releu RT_1 dă și comanda de pornire a releului următor RT_2, care la rîndul său conectează la rețea elementul de execuție al fazei a doua EE_2 mai înainte ca RT_1 să dea comanda de pornire pentru OC_1 ș.a.m.d.

Dezavantajul acestor sisteme față de cele centralizate este că, în cazul unui proces tehnologic cu mai multe faze, sistemele descentralizate au o fiabilitate mai scăzută datorită numărului mare de piese din care sînt alcătuite releele de timp, ca și a numărului relativ mare de relee.

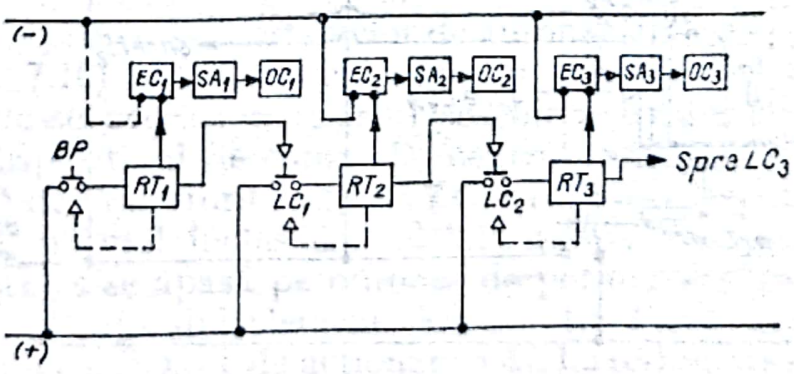


Fig. 7.8. Schema de principiu a sistemului temporal de automatizare descentralizat.

Scanned with OKEN Scanner

În schimb, avantajul sistemelor cu relee de timp se remarcă prin marea ușurință cu care se pot face reglările ocazionate de trecerea la realizarea unui nou ciclu de lucru cu timpi pe faze diferite.

7.2. SISTEME DE AUTOMATIZARE RIGIDE SECVENȚIALE

Sistemele de automatizare secvențiale se folosesc în mod curent în automatizarea mașinilor-unelte, inclusiv a celor cu comandă numerică. Ele pot fi grupate în sisteme centralizate și sisteme descentralizate, iar din punctul de vedere al mijloacelor utilizate pentru realizarea lor s-au folosit sisteme electrice, electrohidraulice, pneumatice etc.

7.2.1. SISTEMELE DE AUTOMATIZARE SECVENȚIALE CENTRALIZATE

După cum rezultă din fig. 7.9, sistemul are în componența sa un dispozitiv de comandă AC de formă cilindrică, prevăzut cu atîtea ploturi l_i cîte organe urmează a fi comandate. Fiecărui plot îi corespunde cîte o perie, iar periile sînt montate în linie, în lungul unei generatoare a dispozitivului de comandă. Elementele de execuție EE_i ale organelor elementare de comandă se conectează pe rînd la rețea, pe măsură ce

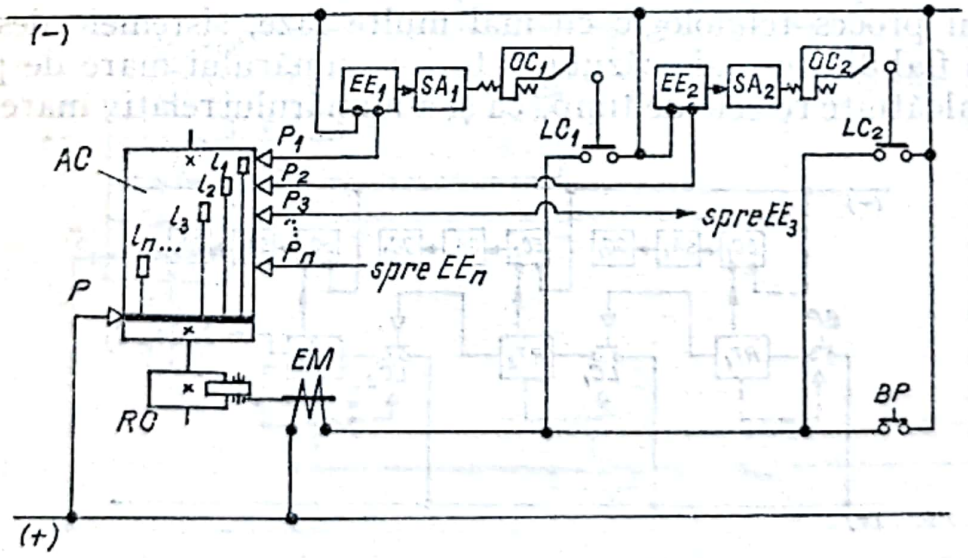


Fig. 7.9. Schema de principiu a sistemului secvențial de automatizare centralizat.

dispozitivul de comandă este rotit intermitent de către un mecanism cu roată cu clichet acționat de un electromagnet EM.

Ploturile l_i se află permanent sub tensiune prin intermediul periei p_0 și a lamelei continue l_0.

Succesiunea obiectelor comandate OC_i are loc după cum urmează: elementul de execuție EE_1 este acționat prin contactul dintre peria p_1 și plotul l_1 și, drept urmare, se pune în funcțiune sistemul de acționare SA_1 al primului obiect comandat OC_1. La capătul cursei este acționat limitatorul de cursă LC_1 fie chiar de obiectul comandat, fie de un alt element legat de acesta, închizînd contactul normal deschis după cum rezultă din fig. 7.9.

Prin acționarea LC_1 se conectează la rețea electromagnetul EM și roata cu clichet RC, deci și dispozitivul de comandă AC cu un pas. În acest caz, palpatorul p_2 face contact cu plotul l_2, iar peria p_1 pierde contactul cu plotul l_1 și deci își începe acțiunea cel de-al doilea obiect comandat OC_2, în schimb încetează acțiunea primului obiect comandat OC_1. Ciclul se reia apoi în continuare după același model pentru toate obiectele comandate OC_i, realizîndu-se astfel condiția de bază a funcționării sistemelor de automatizare secvențiale în sensul că: o secvență (fază) oarecare nu poate începe pînă cînd nu s-a terminat secvența (faza) precedentă.

În general, obiectele comandate OC_i prin deplasare ajung la capătul cursei și închid limitatorul de cursă LC_i, care conectînd la rețea electromagnetul EM rotește prin intermediul roții cu clichet RC dispozitivul de comandă AC, trecînd astfel la acționarea elementului comandat următor OC_{i+1} și apoi în același mod pînă la ultimul obiect comandat OC_n.

7.2.2. SISTEME DE AUTOMATIZARE SECVENȚIALE, DESCENTRALIZATE

Schema de principiu a sistemelor de automatizare secvențiale descentralizate (fig. 7.10) este asemănătoare cu aceea a sistemelor centralizate, păstrîndu-se aceeași notație. Deosebirea constă în faptul că s-a renunțat la dispozitivul de comandă centralizată AC a cărui funcție a fost preluată de limitatorii de cursă LC_i care sînt prevăzuți cu cîte două contacte, unul normal închis iar celălalt normal deschis. La începutul ciclului de pornire se apasă pe butonul de pornire BP care închide circuitul electric al primului element de execuție EE_1, care la rîndul lui pune în funcțiune sistemul de acționare SA_1. La terminarea fazei (secvenței) obiectul comandat OC_1 acționează asupra limitatorului de cursă LC_1 și, ca urmare, contactul normal închis se deschide oprind mișcarea

Scanned with OKEN Scanner

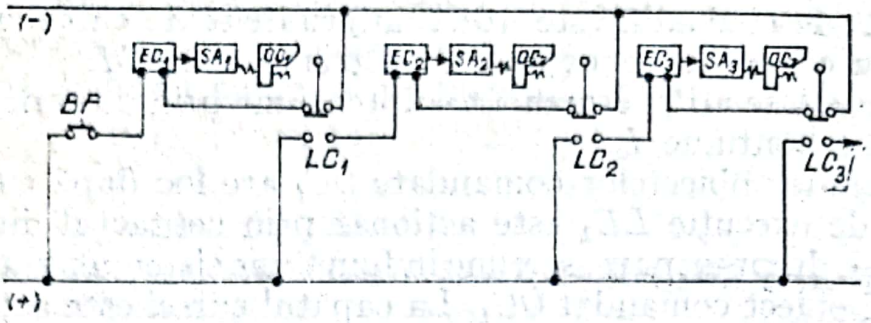


Fig. 7.10. Schema de principiu a sistemului secvențial de automatizare, descentralizat.

obiectului comandat OC_1, în schimb contactul normal deschis se închide, conectînd la rețea următorul element de execuție EE_2. Acesta la rîndul lui introduce în acțiune cel de-al doilea obiect comandat OC_2, prin intermediul sistemului de acționare SA_2. În continuare succesiunea conectărilor-deconectărilor decurge în același mod. Se regăsește astfel și în cadrul acestui sistem de automatizare avantajul principal al sistemelor secvențiale, determinat de faptul că: o secvență oarecare nu poate începe pînă nu se termină secvența precedentă.

Dezavantajul acestui sistem, legat de imposibilitatea suprapunerii secvențelor în vederea creșterii productivității, este compensat de avantajul oferit de posibilitatea efectuării controlului executării comenzilor. Așa poate fi explicat faptul că sistemele de automatizare secvențiale se întîlnesc nu numai la mașinile-unelte clasice, ci mai ales la cele moderne, cu comandă numerică.

Deoarece în construcția mașinilor-unelte se folosesc și sisteme de acționare hidraulice, electrohidraulice sau pneumatice este normal ca și sistemul de comandă în vederea automatizării acestor mașini să fie de aceeași natură.

Așa se explică apariția unor sisteme de automatizare secvențiale electrohidraulice sau a sistemelor de automatizare secvențiale pneumatice, care nu fac obiectul acestei lucrări.

7.3. SISTEME DE AUTOMATIZARE MIXTE, TEMPORALE ȘI SECVENȚIALE

Sistemele de automatizare din această categorie îmbină avantajele sistemelor temporale de a putea realiza suprapunerea secvențelor cu avantajele sistemelor secvențiale de a putea efectua controlul executării comenzii.

Scanned with OKEN Scanner

După cum rezultă din schema de principiu (fig. 7.11) aceste sisteme conțin un dispozitiv de comandă AC — identic cu cel al sistemelor temporale (v. fig. 7.7) — avînd o turație constantă, asigurată de un motor M, un reductor R și un element reglabil alcătuit dintr-o pereche de roți de schimb A/B. De asemenea, sînt prevăzute cu limitatori de cursă LC_i, acționați de obiectele comandate OC_i, la fel ca în cazul sistemelor secvențiale (v. fig. 7.9). Pe schemă se remarcă, în plus, un disc fixat pe același ax cu dispozitivul de comandă, iar opritorii O_i reglați pe disc acționează asupra contactului normal închis LC_0, plasat pe circuitul de alimentare al motorului M.

Opritorii O_i sînt reglați astfel încît să poată acționa asupra limitatorului LC_0 în același moment cu limitatorii de cursă LC_i, respectiv O_1 concomitent cu LC_1, O_2 concomitent cu LC_2 ș.a.m.d. Un astfel de reglaj asigură ca în cazul în care o operație oarecare, (de exemplu, deplasarea OC_1), nu s-a executat, nu se va închide LC_1, dar în același moment LC_0 este deschis de către opritorul O_1 și, ca urmare, motorul M este deconectat de la rețea, oprindu-se și astfel făcîndu-se controlul executării operației. În situația în care procesul tehnologic decurge normal, fără avarii, atunci cînd opritorul O_1, de exemplu, deschide limitatorul LC_0 motorul M nu se oprește, întrucît circuitul motorului se închide prin limitatorul de cursă LC_1, care este închis la capătul cursei obiectului OC_1.

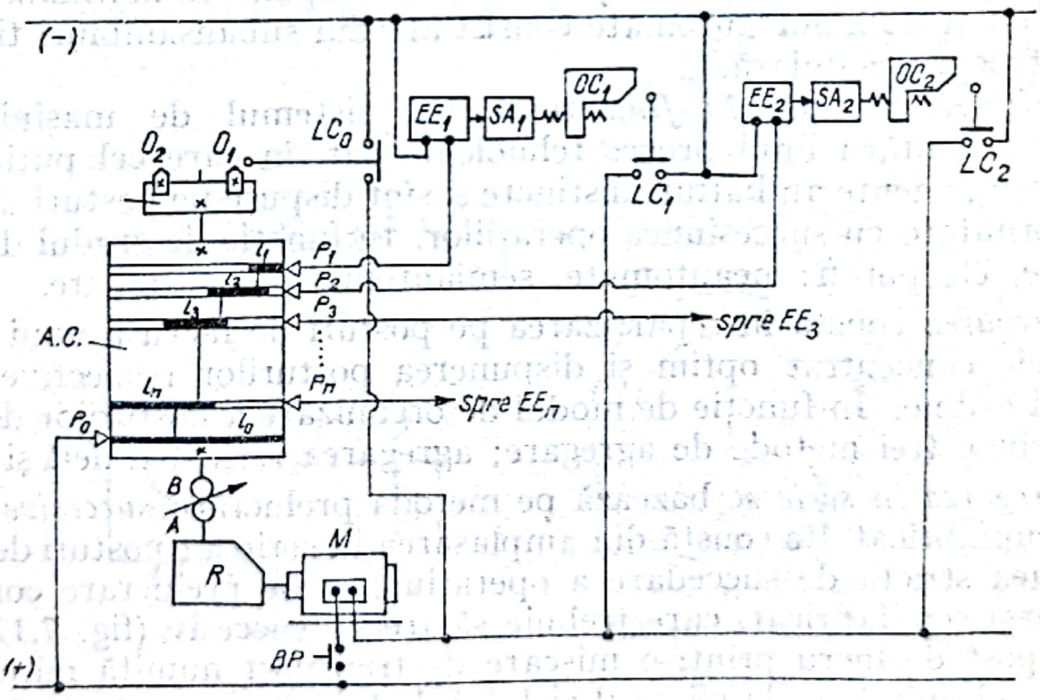


Fig. 7.11. Schema de principiu a sistemului mixt de automatizare, temporal și secvențial.

Scanned with OKEN Scanner

7.4. SISTEME DE MAȘINI-UNELTE DESTINATE PRODUCȚIEI DE SERIE MARE ȘI DE MASĂ

Sistemul de mașini-unelte reprezintă totalitatea mașinilor-unelte destinate realizării unui proces tehnologic dat, grupate pe o anumită suprafață productivă și amplasate într-o anumită ordine.

Sistemele de mașini-unelte destinate producției de serie mare și de masă sînt mașina-unealtă agregat și liniile tehnologice semiautomate și automate.

Mașina-unealtă agregat reprezintă sistemul de mașini-unelte amplasate pe un batiu comun pe care se execută procese tehnologice de așchiere. Condiția necesară și suficientă a unei mașini agregat este dată de existența a minimum două lanțuri cinematice principale, minimum două lanțuri cinematice de avans și a unui batiu comun. Pe o astfel de mașină se pot executa operații de găurire, alezare, filetare, frezare, strunjire etc. Părțile sale componente sînt reprezentate de unități standard, în construcție modulară.

Mașinile agregat individuale sînt semiautomate, iar dacă sînt incluse în linii tehnologice automate, ele devin automate. Structura modulară a unei mașini agregat depinde de gradul de divizare și concentrare a procesului tehnologic care determină numărul posturilor mașinii, precum și de modul de prelucrare de care depinde felul agregării.

În sens larg, *agregarea* se aplică atît în compunerea mașinilor-unelte agregat cît și a liniilor automate constituite din subansambluri tipizate, în construcție modulară.

Liniile tehnologice în flux reprezintă sistemul de mașini-unelte destinat executării unui proces tehnologic dat, în care cel puțin două mașini componente au batiuri distincte și sînt dispuse pe posturi de lucru în conformitate cu succesiunea operațiilor. În funcție de gradul de automatizare, ele pot fi: neautomate, semiautomate și automate.

Agregarea constă în repartizarea pe posturi de lucru a unui proces tehnologic concentrat optim și dispunerea posturilor respective într-o anumită ordine. În funcție de modul de organizare a posturilor de lucru se deosebesc trei metode de agregare: agregarea serie, paralelă și mixtă.

Agregarea în serie se bazează pe metoda prelucrării *succesive* a aceluiași semifabricat. Ea constă din amplasarea în serie a q posturi de lucru, în ordinea strictă de succedare a operațiunilor de prelucrare completă a aceluiași semifabricat, care trebuie să treacă succesiv (fig. 7.12) prin fiecare post de lucru printr-o mișcare de transport numită mișcare de transfer, obținîndu-se la sfîrșitul ciclului de lucru o singură piesă finită. La un post de lucru pot lucra una sau mai multe mașini-unelte, avînd

Scanned with OKEN Scanner

unul sau mai mulți arbori principali, dispuși după mai multe direcții de lucru. Sistemul se aplică la realizarea unor procese tehnologice complexe ce implică un volum mare de muncă, număr mare de scule, operații și faze de lucru, pentru prelucrarea pieselor de dimensiuni mijlocii și mici.

După forma geometrică a traiectoriei mișcării de transport, pe care o descrie semifabricatul, deosebim agregare în serie *liniară* (fig .7.12, *a*) și *circulară* (fig. 7.12, *b*).

Agregarea paralelă se caracterizează prin prelucrarea *simultană a p* semifabricate *identice*. Cele *p* operații *identice* sînt dispuse pe *p* posturi de lucru *identice*, aranjate în paralel, la care *p* grupuri de scule *identice* lucrează asupra a *p* semifabricate *identice* (fig. 7.13).

Din punct de vedere al formei geometrice a liniei de dispunere a celor *p* posturi de lucru deosebim: agregare în paralel *liniară* (fig. 7.13, *a*) și *circulară* (fig. 7.13, *b*).

Agregarea paralelă reprezintă baza construcției mașinilor-unelte agregate cu prelucrarea *simultană*. Ca urmare, semifabricatul nu execută mișcarea de transport interposturi, astfel încît la sfîrșitul ciclului de lucru

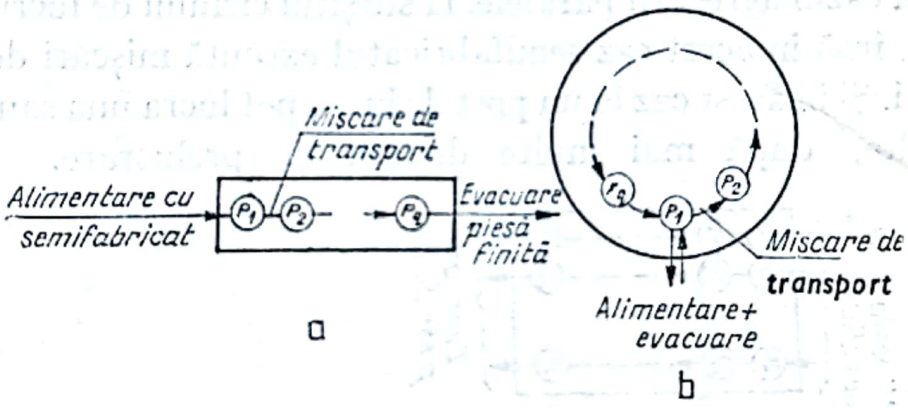


Fig. 7.12. Agregare în serie: (a) liniară (b) circulară.

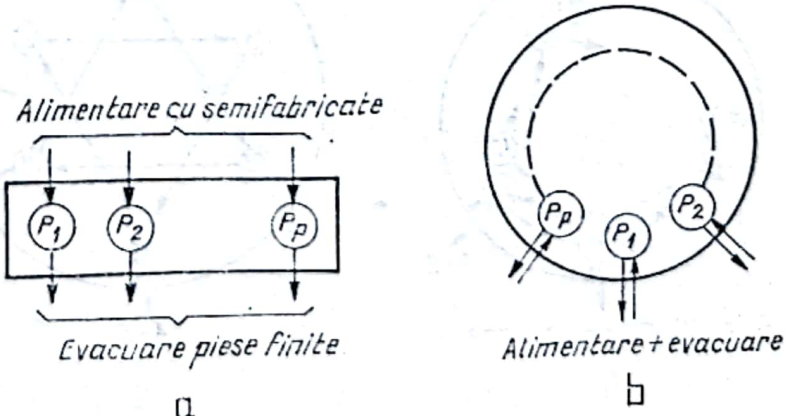


Fig. 7.13. Agregare în paralel (a) liniară (b) circulară.

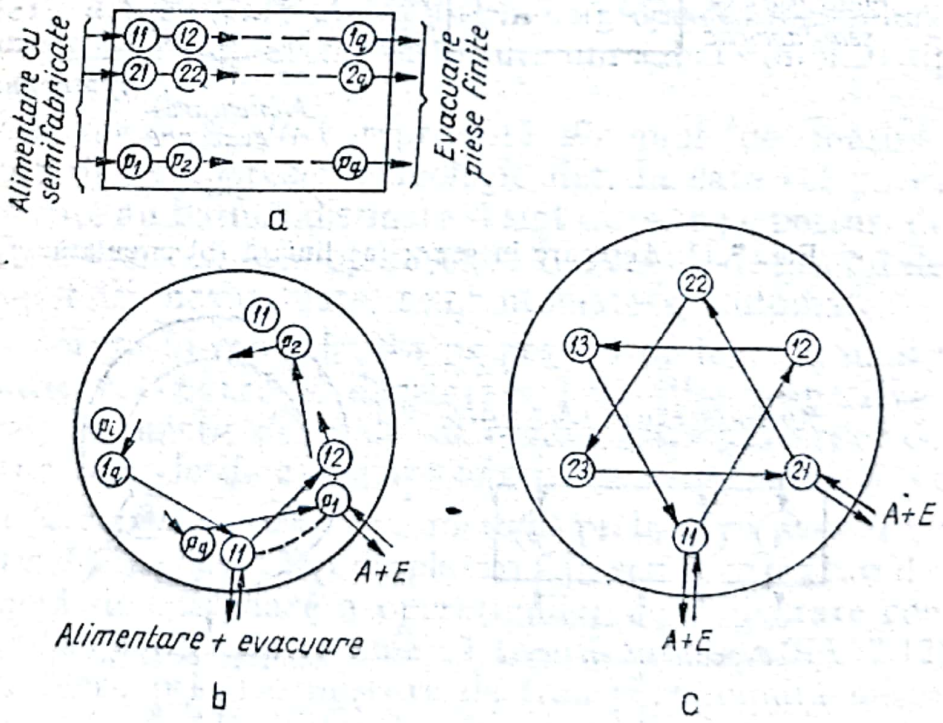
se obține un număr de p piese finite. Se înțelege că la un post de lucru pot lucra una sau mai multe mașini-unelte cu unu sau mai mulți arbori principali sau cu mai multe blocuri de scule, dispuși după mai multe direcții.

Metoda agregării în paralel se folosește la realizarea proceselor tehnologice simple cu un volum mic de muncă, pentru prelucrarea pieselor de dimensiuni mari.

Agregarea mixtă sau serie-paralel. După cum arată denumirea, această metodă se bazează pe o prelucrare *succesiv simultană*, constînd din dispunerea a p procese tehnologice *identice* pe q fluxuri de fabricație *identice*, agregate în paralel, fiecare compunîndu-se din q posturi de lucru agregate în serie. Fiecare din cele p semifabricate *identice*, pentru a putea fi complet prelucrate, trebuie să treacă succesiv prin cele q posturi (fig. 7.14) printr-o mișcare de transfer.

După modul de amplasare a posturilor de lucru agregarea mixtă se poate împărți în două categorii: *liniară* (fig. 7.14, *a*) și *circulară* (fig. 7.14, *b*).

Ca și în cazul agregării paralele, la sfîrșitul ciclului de lucru se obțin p piese finite, însă în acest caz semifabricatul execută mișcări de transport interposturi. Și în acest caz la un post de lucru pot lucra una sau mai multe mașini-unelte, după mai multe direcții de prelucrare.



a b c

Fig. 7.14. Agregare mixtă: a) liniară; b) și c) circulară.

De remarcat că în construcția atelierelor și secțiilor automate, agregarea mixtă corespunde cel mai bine cerințelor de automatizare a producției de serie mare și de masă.

Neajunsul principal al automatizării producției cu mașini agregat sau linii de transfer îl constituie ineficiența acestora la schimbarea profilului de fabricație. Trecerea la realizarea unui nou produs în raport cu cerințele de diversificare a produselor, scoate în evidență cel mai bine caracterul „rigid" al acestui tip de automatizări. În acest caz se impune reproiectarea întregului sistem de fabricație, începînd cu realizarea de noi mașini pînă la reinstruirea personalului de deservire. Ansamblul acestor probleme conduce inevitabil la lungirea timpului de pregătire a fabricației, de realizare a întregului echipament tehnic și de desfacere a producției în termen util și în condiții economice avantajoase.

Din cele arătate rezultă că automatizarea bazată pe folosirea de agregate și linii de transfer, care a atins dealtfel un maxim de perfecționare în zilele noastre, în domeniul producției de serie mare și de masă, nu poate constitui o soluție eficientă pentru fabricația produselor în serie mică și mijlocie și cu atît mai mult de unicate, datorită caracterului său rigid la trecerea fabricației de la un tip de produs la altul.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 8

EVOLUȚIA SISTEMELOR DE AUTOMATIZARE PENTRU PRODUCȚIA DE SERIE MICĂ ȘI MIJLOCIE

Pentru țări ca a noastră, care realizează o producție preponderat în loturi, o problemă fundamentală o constituie *aducerea și cel puțin menținerea în viitor a productivității muncii, în acest domeniu, la nivelul celui obținut în producția de masă pe plan mondial*, pe calea promovării unei *automatizări flexibile*, capabile să se adapteze cu ușurință și în mod eficient la sarcini de producție diferite.

Dacă pe plan conceptual și constructiv punctul de plecare în concilierea dilemei unificare-diversificare îl reprezintă *standardizarea, unificarea* și *tipizarea* în concepție modulară, pe planul fabricației acestui deziderat îi răspunde *dotarea tehnică* cu mijloace de producție cu un înalt grad de *flexibilitate* la schimbarea sarcinii de producție.

Este cunoscut că într-un atelier clasic de serii mici o piesă nu este prelucrată pe mașini decît maximum 5% din ciclul ei de fabricație, iar o mașină nu lucrează efectiv la încărcarea maximă decît 30% din timp.

Noua orientare în dezvoltarea industriei în ultimii 15—20 de ani se caracterizează prin *înlocuirea mașinilor-unelte* prevăzute cu sisteme de comandă rigidă, pentru reperele ce se produc în seria mică sau mijlocie, cu mașini-unelte cu sisteme de comandă elastice cunoscute și sub denumirea de mașini-unelte cu comandă program.

Scanned with OKEN Scanner

Sistemele de automatizare *elastice* sînt acele sisteme la care succesiunea și durata semnalelor de comandă se pot schimba cu ușurință, astfel că la trecerea de la prelucrarea unei piese la prelucrarea piesei următoare este necesar un timp relativ scurt pentru schimbarea programului.

Flexibilitatea ridicată în ceea ce privește memorarea informațiilor și transmiterea lor după necesități reprezintă dealtfel elementul hotărîtor în a decide utilizarea acestui tip de mașini în producția de serie mică și unicate, cu toate că costurile relativ mai ridicate și fiabilitatea ceva mai scăzută decît la mașinile rigide frînează, deocamdată, generalizarea utilizării lor. Scăderea vertiginoasă a prețurilor componentelor electronice, la care asistăm în prezent, anticipează o evoluție deosebit de competitivă a sistemelor de automatizare elastică în general și a celor cu comandă numerică în special.

Printre sistemele ce s-au dovedit a avea calități reale ca sisteme de automatizare, mai mult sau mai puțin elastice, enumerăm sistemele cu fișe, sistemele cu bile și sistemele cu comandă numerică în rapidă dezvoltare și perfecționare, la care ne vom referi în continuare.

8.1. SISTEME DE AUTOMATIZARE CU COMANDĂ NUMERICĂ CONVENȚIONALĂ

Apariția sistemelor cu *comandă numerică* CN (sau NC) înregistrează un salt calitativ nou față de toate celelalte sisteme menționate mai înainte.

La acestea, *programul se memorează pe un purtător adecvat*, sub forma unor date numerice, iar echipamentele respective de comandă pot prelucra datele din program și eventual informațiile primite de la mașina-unealtă, în timpul exploatării.

Creșterea flexibilității mașinii comandate prin sistemul CN rezultă din faptul că *trecerea de la prelucrarea unui fel de produs la altul este asigurată în mod rapid printr-o simplă schimbare a programului mașinii-unelte.*

Importanța dotării tehnice cu mașini-unelte cu comandă numerică a crescut atît încît se consideră că ponderea acestora față de cele convenționale reprezintă un indice ce caracterizează progresul tehnico-industrial al unei țări.

În același timp, progresele cu totul deosebite în domeniul microelectronicii și a calculatoarelor au făcut ca echipamentele de comandă

Scanned with OKEN Scanner

numerică să nu reprezinte mai mult de 20—25% din costul mașinilor-unelte mici și 5—10% din costul mașinilor-unelte mari sau al centrelor de prelucrare complexe.

Cele mai noi prognoze în acest domeniu indică faptul că într-un viitor nu foarte îndepărtat nu va mai exista mașină-unealtă fără propriul său sistem de comandă numerică, așa cum în prezent este greu de imaginat mașină-unealtă fără propriul său motor electric de acționare.

Astfel de mașini vor să asigure maximum de precizie și productivitate atît în condițiile exploatării lor individuale, cît și în condițiile integrării lor într-un sistem de mașini comandat direct de către un calculator sau în sistemele flexibile de producție (v. cap. 9).

Orice sistem de prelucrare prin așchiere cu comandă numerică (CN) cuprinde:

— *echipamentul de comandă numerică* (ECN), care este alcătuit dintr-o serie de circuite electronice. Acesta are rolul de a prelua informațiile de comandă, de a le prelucra și de a transmite comenzi spre organele de execuție. Introducerea datelor în sistemele CN se poate face pe mai multe căi, și anume: automat, prin purtătorul de program; automat, prin intermediul unui calculator de proces sau manual;

— *suportul pentru informațiile de prelucrare* ca: benzi, fișe perforate sau benzi cu înregistrare magnetice;

— *ansamblul mașinii-unelte* cu acționările principale și de avans, comenzile, verigile executante principale și secundare (sănii, suporți etc.), precum și traductori de deplasare pentru circuitele de reglare automată.

Din punct de vedere cinematic mașinile-unelte convenționale sînt asemănătoare cu mașinile-unelte cu comandă numerică. Diferența provine din modul în care se poziționează piesa în raport cu scula. Roțile ce se manevrau de operatorul uman la mașina-unealtă convențională, pentru poziționare, sînt înlocuite la mașinile-unelte comandate numeric prin motoare de acționare, care realizează întreg ciclul de funcționare fără intervenția omului.

În figura 8.1 este redată structura de baza a unei mașini-unelte comandate numeric. Dacă se adaugă la aceasta un număr corespunzător de motoare și un echipament de comandă numerică cu viteză mare de prelucrare și transmitere a informațiilor, se poate obține un sistem de comandă numerică capabil să deplaseze masa sau scula pe oricare direcție și să realizeze orice tip de așchiere de care este capabilă scula.

Scanned with OKEN Scanner

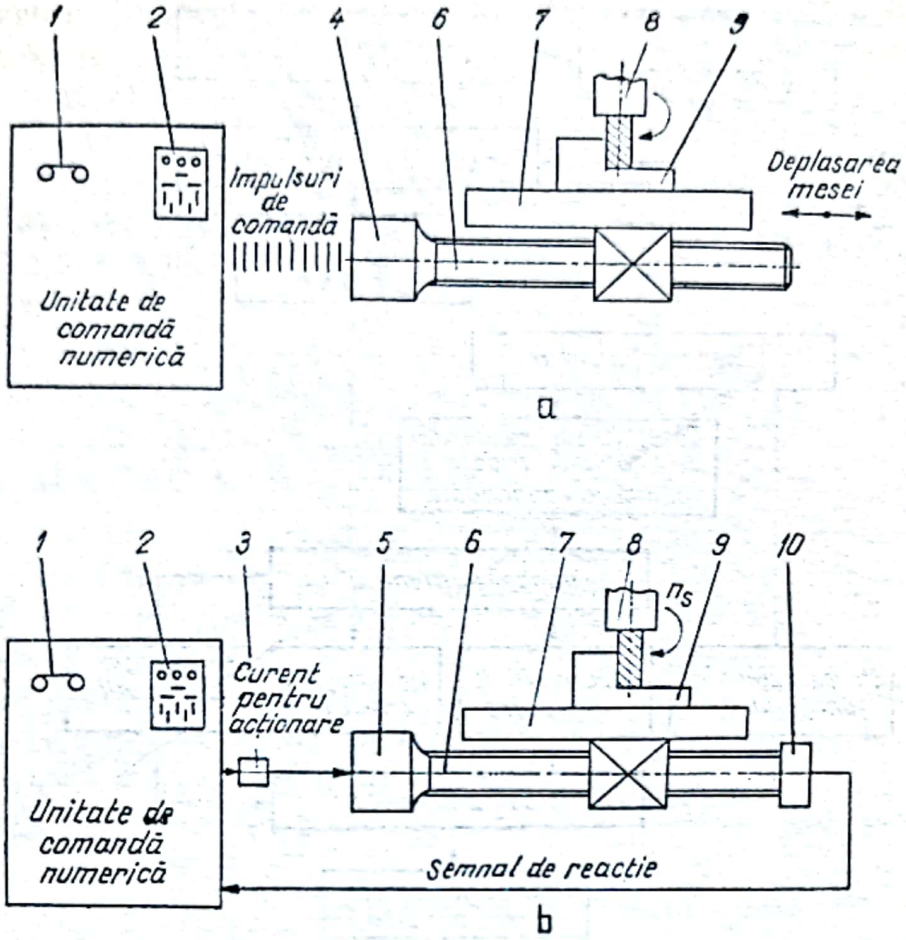


Fig. 8.1. Schema unui sistem cu comandă numerică convențională:

a) cu circuit deschis; b) cu circuit închis; *1* — suport pentru informații; *2* — panoul operatorului; *3* — amplificator; *4* — motor pas cu pas; *5* — motor de curent continuu; *6* — șurub conducător *7* — masa mașinii-unelte; *8* — scula; *9* — piesa; *10* — traducător de deplasare

Prelucrarea informațiilor de la forma lor primară, în faza de concepție și proiectare, pînă la forma finală în care sînt transmise piesei uzinate, se desfășoară în mod simplificat după schema din fig. 8.2.

Urmărind fluxul informațional din fig. 8.2 rezultă că informațiile despre forma și geometria piesei prelucrate pe mașina-unealtă comandată numeric provin atît din informațiile fixe înmagazinate în structura mașinii, ca în cazul prelucrării pe mașinile-unelte convenționale, cît și din informațiile suplimentare memorate și prelucrate de echipamentul de comandă numerică. Sarcinile operatorului uman în acest caz reprezintă o mică parte din cele ale muncitorului de la mașina convențională, ele rezumîndu-se la operații inițiale, cum sînt cele de fixare a piesei sau a sculei (operații care la rîndul lor pot fi robotizate).

Scanned with OKEN Scanner

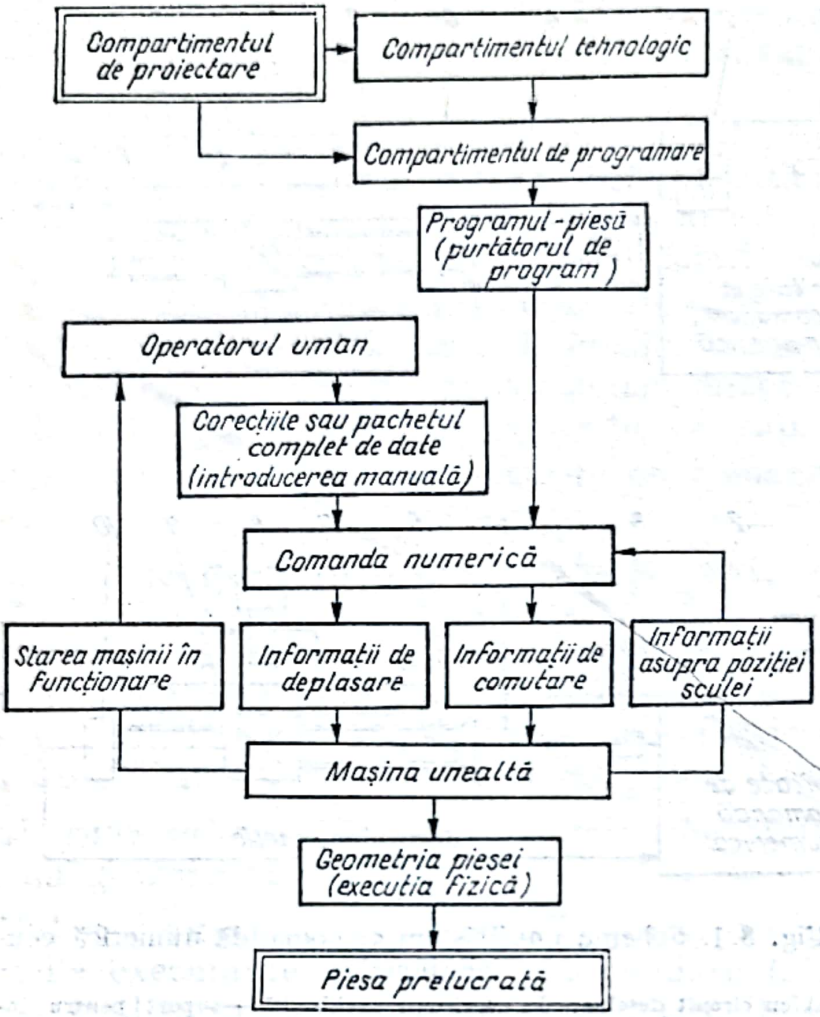


Fig. 8.2. Fluxul informațional pentru execuția unei piese pe mașina-unealtă cu comandă numerică.

În schimb, la mașinile-unelte cu comandă numerică se adaugă operații specifice operatorului uman, cum ar fi: introducerea purtătorului de program, introducerea corecțiilor necesare în echipament, inițierea comenzii de începere a programului etc., precum și operații de supraveghere generală a mașinii. Parcurgînd circuitul de prelucrare a datelor în cazul mașinilor-unelte comandate numeric se pot diferenția două etape importante:

— *prelucrarea externă a datelor*, care reprezintă prelucrarea datelor în afara secțiilor direct productive, începînd cu elaborarea desenului constructiv al piesei și terminînd cu programul înscris pe un purtător adecvat echipamentului de comandă numerică (Off Line Data Processing);

— *prelucrarea datelor pe mașina comandată numeric*, care reprezintă procesul de trecere de la purtătorul de program (de exemplu,

Scanned with OKEN Scanner

bandă perforată) la comenzile mașinii-unelte (On Line Data Processing) în vederea prelucrării piesei.

Echipamentul de comandă numerică prelucrează toate datele conținute în „programul piesă", cele introduse manual de către operator, precum și datele primite de la mașina-unealtă referitor la poziția reală a sculei față de piesă. Rezultatul acestor prelucrări este transmis mașinii-unelte sub forma de *informații de prelucrare*, care pot fi împărțite în două categorii:

— *informații de deplasare*, ce se referă la deplasarea organelor mobile ale mașinii-unelte fie pentru a interveni direct în determinarea geometriei piesei prin deplasări operante, fie pentru înlesnirea unor deplasări auxiliare necesare pentru diferite manevre ale mașinii;

— *informații de comutare*, care conțin datele tehnologice prescrise pentru realizarea geometriei, precum și pentru unele operații auxiliare și pregătitoare necesare în procesul de prelucrare.

În structura mașinilor-unelte cu comandă numerică există două moduri de control al mișcărilor:

— sistem de comandă în circuit deschis (fig. 8.1, a);

— sistem de comandă în circuit închis (fig. 8.1,b).

În cazul sistemului în circuit deschis, pentru transmiterea mișcării controlate se folosește un motor pas cu pas care primește impulsurile de comandă de la echipamentul de comandă numerică. În acest caz, circuitul nefiind închis nu există posibilitatea confirmării în fiecare moment a poziției reale a organului mobil al mașinii. La sistemele în circuit închis se realizează reglarea automată a mișcării, prin conexiune inversă. Există posibilitatea citirii de către sistemul de comandă a poziției reale a organului mobil al mașinii. În acest caz, echipamentul de comandă va comanda un motor de curent continuu sau alternativ pînă cînd deplasarea reală citită de un traductor de deplasare coincide cu deplasarea programată. Prin urmare, în primul caz avem de-a face cu un *sistem de comandă*, iar în cel de al doilea cu un *sistem automat de reglare*. Datorită avantajelor prezentate de cel de al doilea sistem, în cazul mașinilor-unelte cu comandă numerică, acesta se aplică în majoritatea cazurilor.

Din punct ce vedere al mișcărilor finale ce determină poziția relativă a sculei față de piesă, echipamentele de comandă numerică pot fi clasificate în trei categorii:

Echipamente de poziționare. Acestea sînt echipamentele ce asigură comanda succesivă a maselor sau dispozitivelor port-sculă, fără ca în timpul deplasării, pe axa în mișcare, să se execute prelucrări mecanice. Prin urmare, principiul care stă la baza conducerii mașinii-unelte cu aceste echipamente de poziționare îl constituie posibilitatea depla-

Scanned with OKEN Scanner

sării sculei față de piesă, sau invers, piesei față de sculă (într-un punct de coordonate prescris) fără ca în timpul deplasării sculei să se realizeze contactul direct sculă-piesă.

Acest tip de comandă își găsește aplicarea în special la mașinile de găurit și la cele de alezat cu poziționare în plan. În acest caz, deplasarea în cele două cooordonate se face în mod succesiv, cotele comandate numeric fiind distanțate între axe (fig. 8.3).

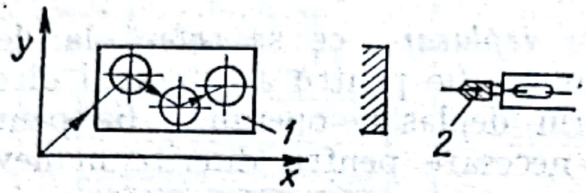


Fig. 8.3. Traseul sculei la comanda numerică de poziționare:
1 — piesă; *2* — sculă.

Echipamente de prelucrare liniară. Acest tip de comandă asigură deplasarea în timpul lucrului a sculei sau piesei după direcții paralele cu axele principale ale mașinii, iar în timpul deplasărilor de-a lungul axelor de coordonate, scula este în contact cu piesa (are loc procesul de prelucrare) (fig. 8.4).

Comparativ cu comenzile de poziționare care transmit mașinii-unelte numai informații de deplasare, comenzile de prelucrare liniară transmit mașinii atît informații de deplasare, cît și unele informații tehnologice referitor la turația arborelui principal, avansul, schimbarea sculei etc.

Echipamente de conturare. Acest tip de echipament se caracterizează prin aceea că axele mașinii sînt comandate simultan, existînd o dependență funcțională între deplasarea pe două sau chiar pe trei axe. Datorită acestei posibilități, echipamentul poate comanda execuția unor curbe în plan sau în spațiu, conturul acestor curbe rezultînd din combinarea mișcărilor pe axele comandate.

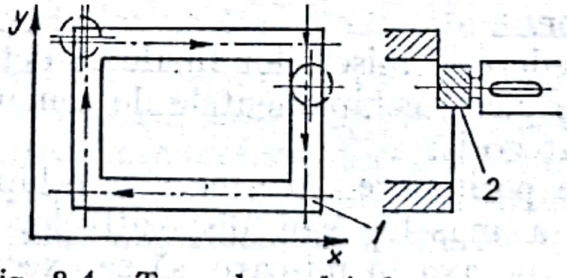


Fig. 8.4. Traseul sculei la comanda numerică liniară:
1 — piesă; *2* — sculă.

Scanned with OKEN Scanner

În figura 8.5 se reprezintă traseul sculei la comanda numerică de conturare.

Sistemele cu comandă numerică după program permit asigurarea unui grad înalt de *flexibilitate tehnologică*, rapiditate în schimbarea tehnologiei de fabricație, reducerea timpului de prelucrare, siguranță ridicată în funcționare, reducerea la minimum a manoperei și automatizarea aproape totală a procesului de lucru.

Analizînd evoluția sistemelor CN în cei 25 de ani de utilizare industrială se pot identifica trei domenii mari în care au apărut perfecționări continue:

a) Echipamente de interfață și echipamentele de introducere și transmitere a datelor (de exemplu, semnalul de la traductorii de poziție transmis prin convertori *A/D* de diferite tipuri la echipamente de afișare a cotelor; echipamente de captare a semnalelor digitale de viteză și transmitere prin convertor *D/A* la intrarea unităților de servoacționare, cititoare de bandă etc.).

b) Echipamente pentru prelucrarea internă a datelor și elemente de execuție (cum sînt: echipamente pentru comanda deplasărilor pentru compensarea uzurii sculelor, pentru stabilirea succesiunii fazelor la fiecare operație, echipament pentru comanda vitezelor, avansurilor, schimbării sculelor etc.).

c) Memorii, destinate memorării datelor privind sculele (tip, unghiuri, raze de curburi la muchiile aşchietoare, cote de prereglare etc.), sau a instrucțiunilor și subprogramelor.

Primele două domenii au cunoscut o dezvoltare paralelă pînă în jurul anului 1970, cînd beneficiarii au putut folosi, la costuri de investiție și de exploatare rezonabile, o gamă largă de mașini-unelte la care traiectoria sculelor și funcțiunile de lucru (selectarea sculelor și vitezelor de avans, a turațiilor etc.) sînt controlate în întregime de către echipamentele de comandă numerică.

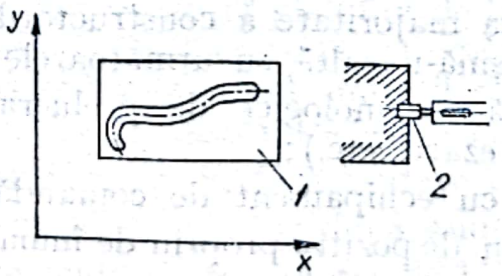


Fig. 8.5. Traseul sculei la comanda numerică de conturare:
1 — piesă; *2* — sculă;

Scanned with OKEN Scanner

Pentru această etapă este caracteristică realizarea unor echipamente de comandă (hardware) specifice diferitelor tipuri de mașini-unelte:

— punct cu punct pentru operații de găurire-alezare;
— prelucrare liniară pentru strunjiri, frezări etc.;
— conturare pe 2 axe pentru strunguri;
— conturare pe 3 axe pentru mașini de frezat, bohrwerkuri etc.;
— conturare pe 4—5 axe pentru centrele de prelucrare.

După cum se observă, producătorii de echipamente CN au fost confruntați cu problema creerii unei game destul de largi de variante necesare pentru a acoperi diversitatea mașinilor-unelte.

O etapă nouă în dezvoltarea sistemelor cu CN a fost marcată de apariția microprocesoarelor, care, la un preț relativ scăzut, au deschis posibilitatea realizării unor echipamente flexibile, implementînd toate funcțiunile de comandă, ce depind de mașină, în programe.

8.2. CENTRE DE PRELUCRARE

În ultimii ani conceptul de „centru" a devenit un cuvînt folosit în domeniul mașinilor-unelte. Multe dintre mașini sînt etichetate cu acest cuvînt pentru a le da o semnificație aparte față de mașinile convenționale în ceea ce privește tehnologia de lucru. Cu cîteva excepții, termenul se referă însă la un tip de mașină-unealtă numită „centru de prelucrare".

Pe plan mondial centrele de prelucrare au apărut prima oară în anul 1958, în S.U.A., ca urmare a tendinței de mărire a numărului de scule din echipare proprie, datorită necesității de prelucrare a unor piese mai complexe, dar în serie mică.

Deși nu există o interpretare unică asupra conceptului de centru de prelucrare, marea majoritate a constructorilor înțeleg prin centru de prelucrare o mașină-unealtă cu următoarele caracteristici:

— are posibilități tehnologice de prelucrare multiple (strunjire, găurire, filetare, frezare etc.);
— este dotată cu echipament de comandă numerică;
— dispune de un dispozitiv propriu de înmagazinare a unui anumit număr de scule;
— poate dispune de posibilități de schimbare și transfer automat al sculelor.

Scanned with OKEN Scanner

De remarcat că majoritatea acestor caracteristici pot fi regăsite și la mașinile-unelte cu comandă numerică și cap revolver (strunguri paralele, mașini de găurit). Mai mult, lipsa mecanismului de transfer între arborele principal și magazinul de scule este întîlnită nu numai la mașinile cu cap revolver dar și la unele tipuri de centre de prelucrare.

Spre deosebire de capul revolver, *magazinul de scule nu se află sub acțiunea forțelor de așchiere.*

Prin urmare, prin centru de prelucrare se înțelege o mașină-unealtă care are posibilități tehnologice de prelucrări multiple, este echipată cu comandă numerică, dispune obligatoriu de un dispozitiv de înmagazinare a unui număr oarecare de scule, dispozitiv ce nu se află sub acțiunea forțelor de așchiere și efectuează schimbarea sculelor automat.

Majoritatea centrelor de prelucrare dispun în dotare de o serie de componente ce derivă din mașini-unelte universale, cum ar fi mașina de frezat, mașina de găurit, strunguri comandate numeric, la care se adaugă elementele specifice centrului de prelucrare ca: magazinul de scule și mecanismul de schimbare și transfer al sculei.

Centrele de prelucrare cu performanțele actuale, utilizate individual, sînt eficiente cu deosebire în producția de serie mică (v. § 8.3.3.). Utilizarea pentru producția de serie mijlocie devine eficientă prin integrarea lor în „celule flexibile de fabricație" (v. cap. 9).

Centrele de prelucrare pot fi clasificate în funcție de mai multe criterii astfel: după operația tehnologică realizată și tipul mașinii-unelte (centre de prelucrare prin strunjire, prin găurire, prin frezare, frezare-alezare, combinate); după poziția arborelui principal (orizontal sau vertical); după forma și tipul magazinului de scule (centre de prelucrare cu magazin tip disc cu axă orizontală, verticală sau înclinată) sau de tip transportor cu lanț (dreptunghiular sau oval); după gradul de mobilitate a suportului magazinului de scule (centre de prelucrare cu magazin fix sau mobil); după poziția relativă a axei arborelui principal și axei magazinului (centre de prelucrare cu axe paralele, perpendiculare sau înclinate în spațiu); după poziția planului de lucru față de planul de schimb al sculei (centre de prelucrare la care cele două plane coincid, sînt paralele sau înclinate); după tipul unității de transfer (centre de prelucrare, prevăzute cu mînă mecanică simplă, dublă, cu complex de mîini mecanice simple și duble, fără unitate de transfer, cu mîini mecanice și cu mecanisme de transfer); după numărul punctelor intermediare prin care trece scula pe traiectoria de la magazin la arborele principal (centre de prelucrare fără loc de așteptare, cu unul sau două locuri de așteptare).

Scanned with OKEN Scanner

Elemente constructive specifice din dotarea centrelor de prelucrare

Magazinul de scule și manipulatoare utilizate în construcția centrelor de prelucrare. Ansamblul centrului de prelucrare în care sînt depozitate temporar și codificat sculele necesare pentru prelucrarea unui anumit tip de piesă poartă numele de *magazin de scule.*

În figura 8.6 sînt redate tipurile constructive de magazine de scule. Cele mai reprezentative sînt cele de tip disc sau turelă, care pot fi: cu axa sculei înclinată ($\varphi \neq 0°$); turelă ($\varphi = 0°$); disc ($\varphi = 90°$) și multietajat (supraetajat).

Primele trei categorii de magazine de tip disc, în general, au aceeași capacitate de înmagazinare. La acestea, poziția sculei este dictată de

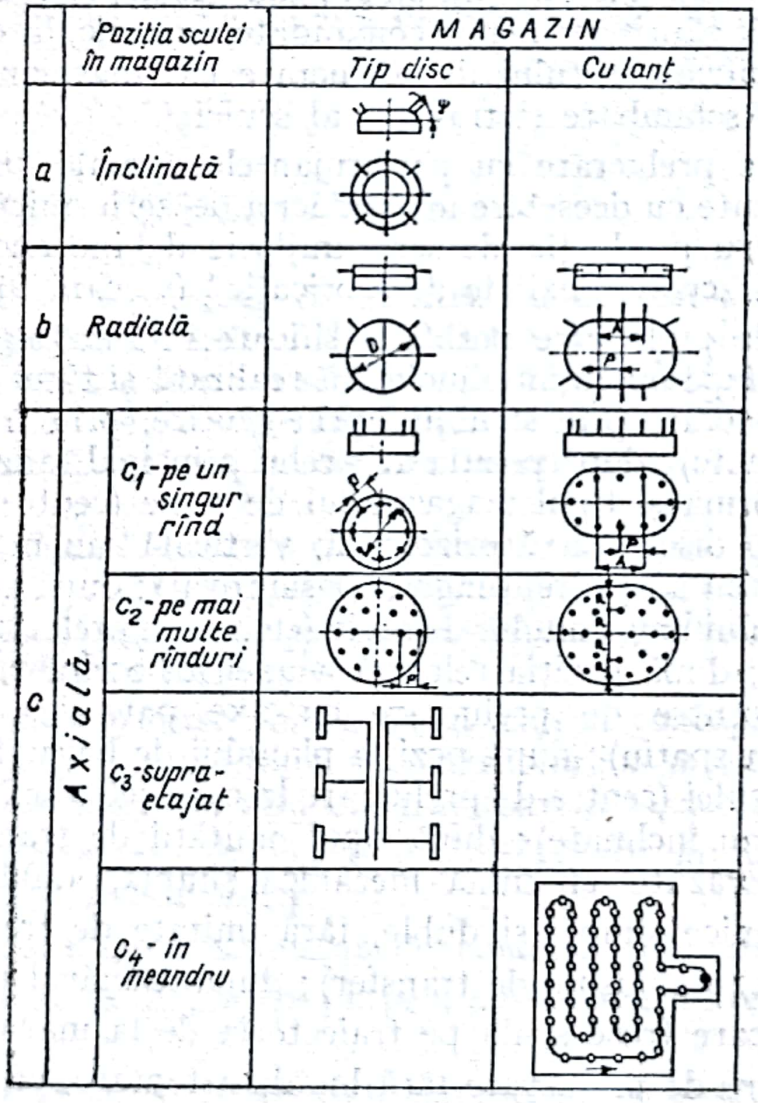


Fig. 8.6. Principalele tipuri de magazine de scule.

poziția magazinului față de planul de lucru al sculei, precum și de cinematica și construcția mecanismului de transfer.

Ultimele trei tipuri de magazine de tip disc se caracterizează prin asigurarea unei capacități mai mari de înmagazinare. Magazinele etajate pot avea etajele dispuse paralel sau cu dispunerea sculelor în paralel.

Spre deosebire de magazinele de scule de tip disc, cele cu lanț dispun de un număr mai mare de locașuri pentru scule. În vederea creșterii considerabile a numărului de scule, unele centre de prelucrare sînt prevăzute cu magazine cu lanț de tip meandru (fig. 8.7). Aceste locașuri sînt practicate în elemente prinse de lanțul transportor.

Capacitatea de înmagazinare a magazinelor de scule se stabilește cu următoarele relații:

— magazine de tip disc: $N = \pi D/p$; (8.1)

— magazine cu lanț ovale: $N = (\pi D + 2L)\,p$. (8.2)

în care D reprezintă diametrul cercului purtător al centrelor sculelor; L distanța dintre axele roților de lanț, p pasul de așezare a sculelor.

Aria delimitată de linia purtătoare a centrelor sculelor S este:

— pentru magazine de scule tip disc: $S = \pi D^2/4 = N^2p^2/4\pi$; (8.3)

— pentru magazine de scule de tipul transportor cu lanț, oval:

$$S = \pi D^2/4 + LD = (N^2p^2 - 4L^2)/4\pi = (2DNp - \pi D^2)/4. \quad (8.4)$$

Mărimea ariei în acest caz, precum și greutatea și momentul de inerție ale magazinului de scule cresc parabolic cu capacitatea de înma-

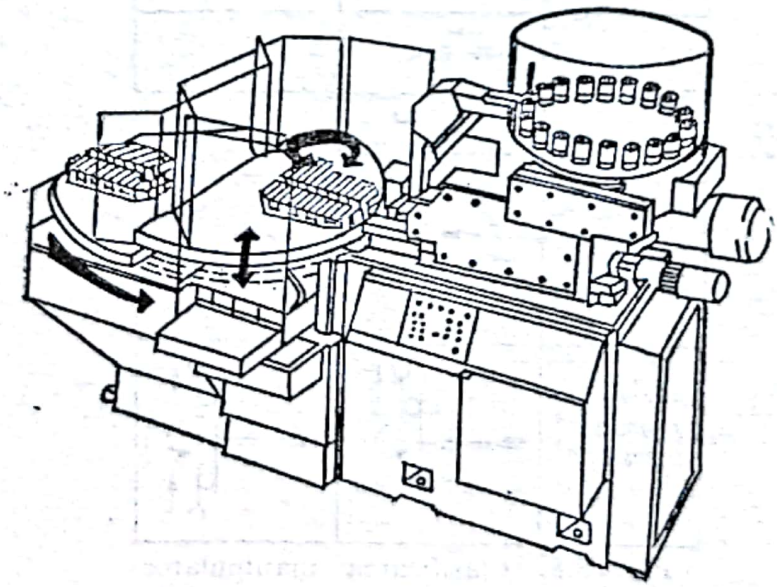


Fig. 8.7. Centru de prelucrare cu palete.

gazinare N, precum și cu pasul de așezare a sculelor p, ce depinde la rîndul lui de gabaritul maxim al sculelor.

Din punct de vedere cinematic și constructiv, magazinul de tip transportor cu lanț este mai complicat decît magazinul disc, motiv pentru care primul se utilizează pentru capacități de utilizare mari și foarte mari.

Manipulatoarele (mîna mecanică) folosite în construcția centrelor de prelucrare sînt destinate pentru prinderea și extragerea sculei din magazin/arborele principal, pentru transportul acesteia pe întreg traseul dintre magazin și arborele principal sau numai pe o porțiune din acesta. După numărul de scule ce le poate transporta deodată, manipulatoarele folosite în construcția centrelor de prelucrare pot fi simple sau duble. Din punct de vedere cinematic, ele sînt prevăzute cu un număr de grade de mobilitate relativ redus. Astfel, deosebim manipulatoare cu o mișcare de rotație sau de translație, de rotație și de translație și mîini mecanice cu mișcare de translație și două mișcări de translație (fig. 8.8).

În figura 8.9 este prezentat un centru de prelucrare avînd magazinul de scule sub formă de cap revolver, iar în fig. 8.10 este sistematizat modul de lucru al mîinii mecanice din dotarea acestei mașini.

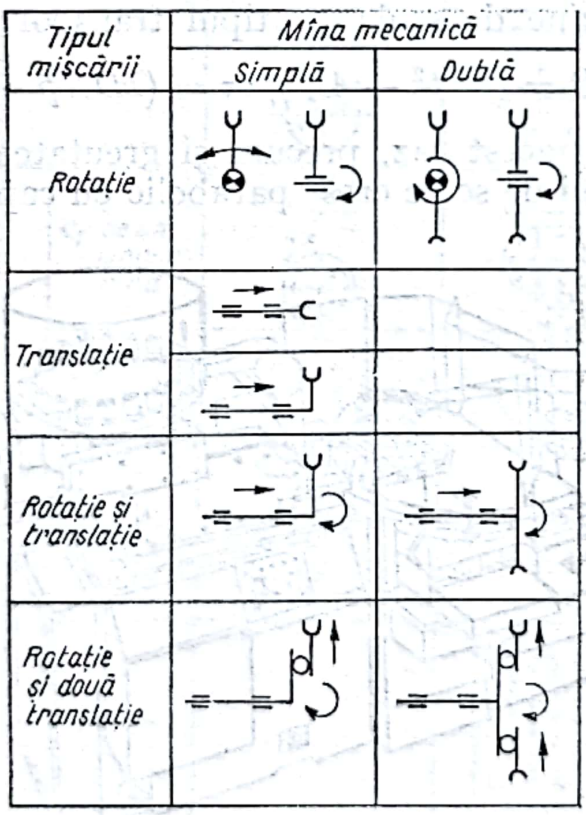


Fig. 8.8. Clasificarea manipulatoarelor folosite în construcția centrelor de prelucrare.

Scanned with OKEN Scanner

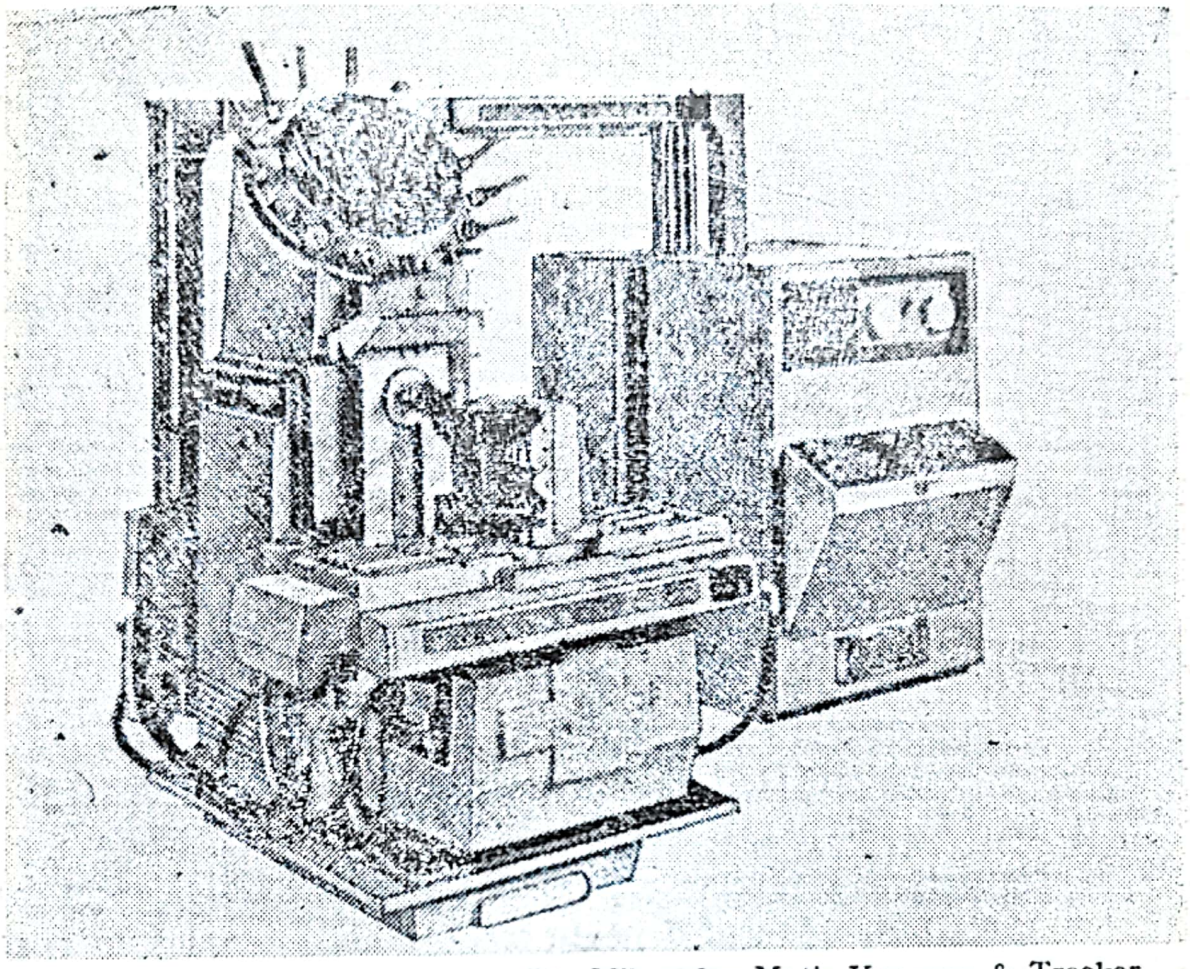


Fig. 8.9. Centru de prelucrare Eb Milwaukee-Matic-Kearney & Trecker.

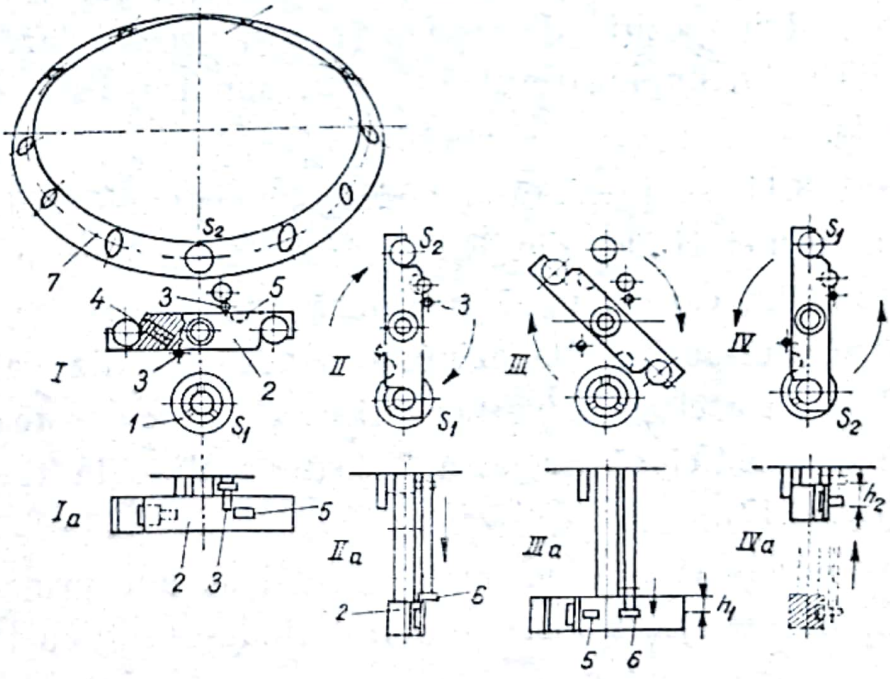


Fig. 8.10. Funcționarea alimentării cu scule a centrului de prelucrare Eb Milwaukee-Matic-Kearney & Trecker

Scanned with OKEN Scanner

În poziția *I*, axul principal *1* realizează prelucrarea cu scula S_1, mîna mecanică *2* fiind în poziția de repaus, sprijinindu-se pe bolțurile *3*. Magazinul port scule *7* se găsește în poziția în care scula S_2 urmează să înlocuiască scula S_1 din axul principal al mașinii. În momentul în care operația de prelucrare cu scula S_1 este terminată, axul principal se oprește din mișcarea de rotație, ceea ce are ca urmare intrarea în funcțiune a mîinii mecanice. Aceasta se rotește în sensul acelor de ceasornic, cu 90° conform poziției *II*, pînă la aceiași opritori *3*, apucînd simultan sculele S_1 și S_2, a căror fixare în mîna mecanică este asigurată de piesele *4*.

În poziția rotită, mîna este împinsă axial, conform poziției a *II*-a, de către împingătorul *6*, extrăgînd simultan scula S_1 din axul principal și scula S_2 din magazinul *7*.

Urmează în continuare rotirea mîinii, de 180°, conform poziției *III*, timp în care împingătorul *6* se mai deplasează axial pe distanța h_1, astfel încît capul acestuia să se găsească în același plan de rotație cu canalul semicircular *5* din mîna mecanică. Ca urmare, după terminarea rotației cu 180°, împingătorul *6* poate trage mîna mecanică în poziția inițială, conform poziției a *IV*-a, mîna introducînd scula S_2 în axul principal și scula S_1 în magazin, după care se rotește în sens invers, cu 90°, revenind în poziția de repaus (*I*). În aceeași fază, la ieșirea mîinii mecanice din împingătorul *6*, acesta din urmă se retrage axial pe distanța h_2.

În figura 8.11 se prezintă o vedere a centrului de prelucrare NCMC-100 al firmei Hüller din R.F.G., care posedă un magazin alăturat, magazin din care o mînă mecanică alimentează cu scule axul principal al mașinii-unelte. Magazinul este alcătuit din patru discuri solidarizate pe un același ax vertical, fiecare dintre acestea conținînd cîte 25 de scule, astfel că magazinul poate conține în total pînă la 100 scule (fig. 8.12).

Sania transversală conține un bloc cu două axe principale, unul în stînga jos, altul în dreapta sus, blocul putîndu-se roti cu 180° într-un sens și altul pentru a aduce scula din stînga în poziția de lucru, iar scula din dreapta în poziție de a fi înlocuită.

Scanned with OKEN Scanner

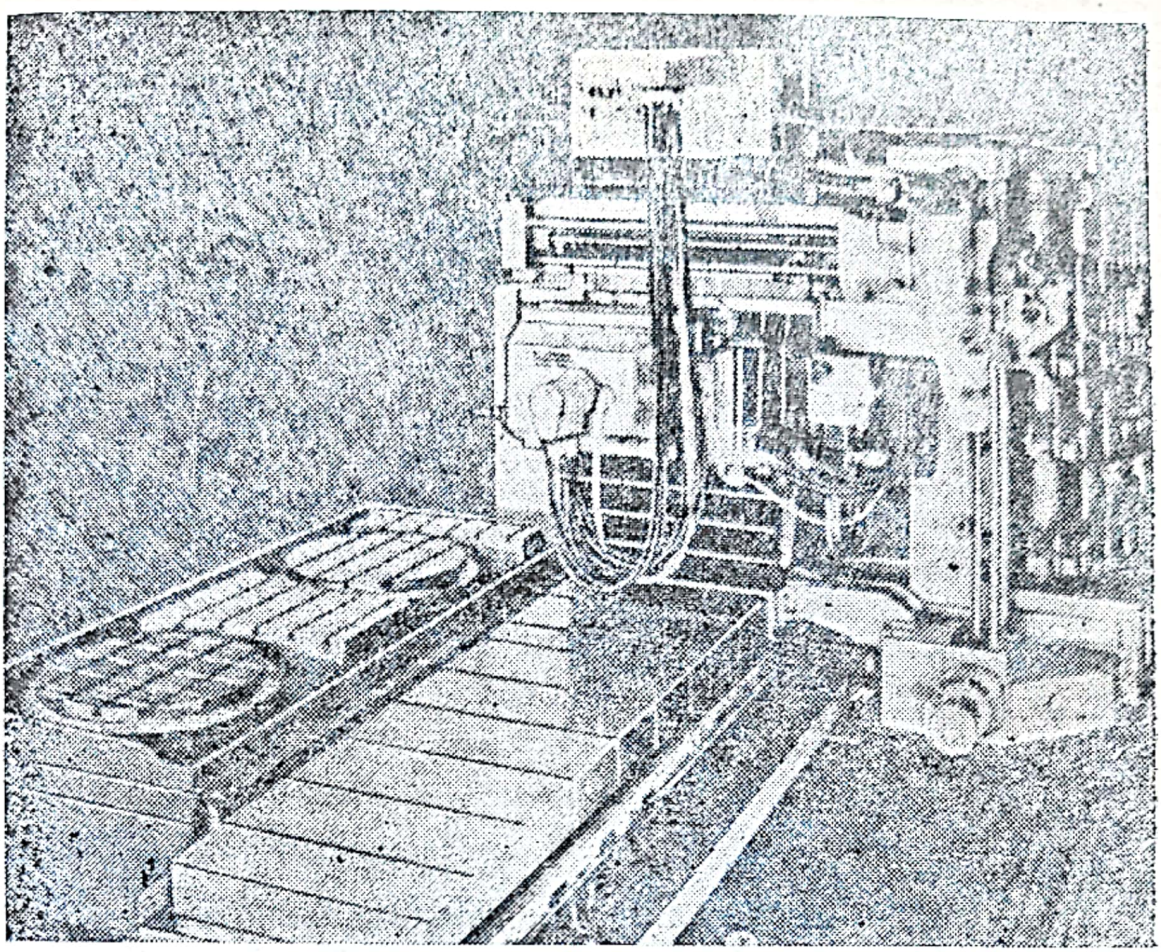


Fig. 8.11. Centru de prelucrare Hüller NCMC — 100 cu magazin pentru 100 scule comandă numerică.

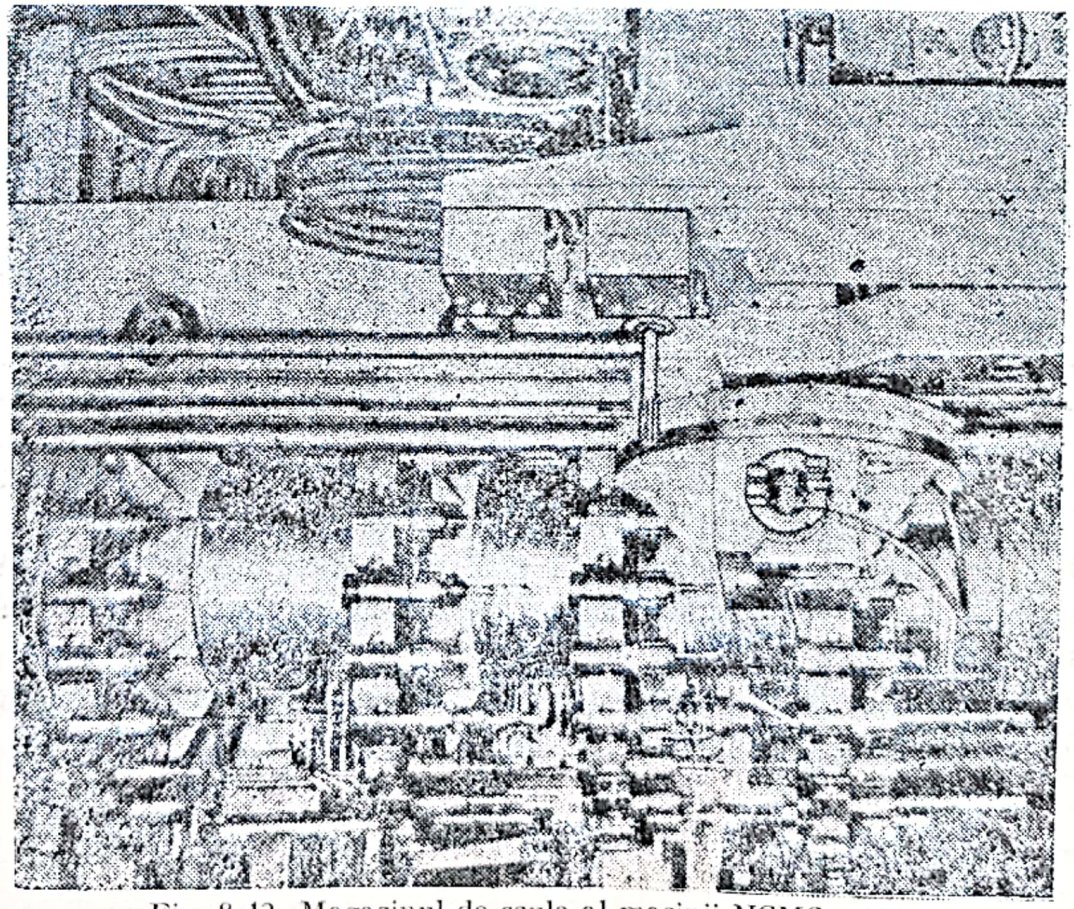


Fig. 8.12. Magazinul de scule al mașinii NCMC — 100.

Scanned with OKEN Scanner

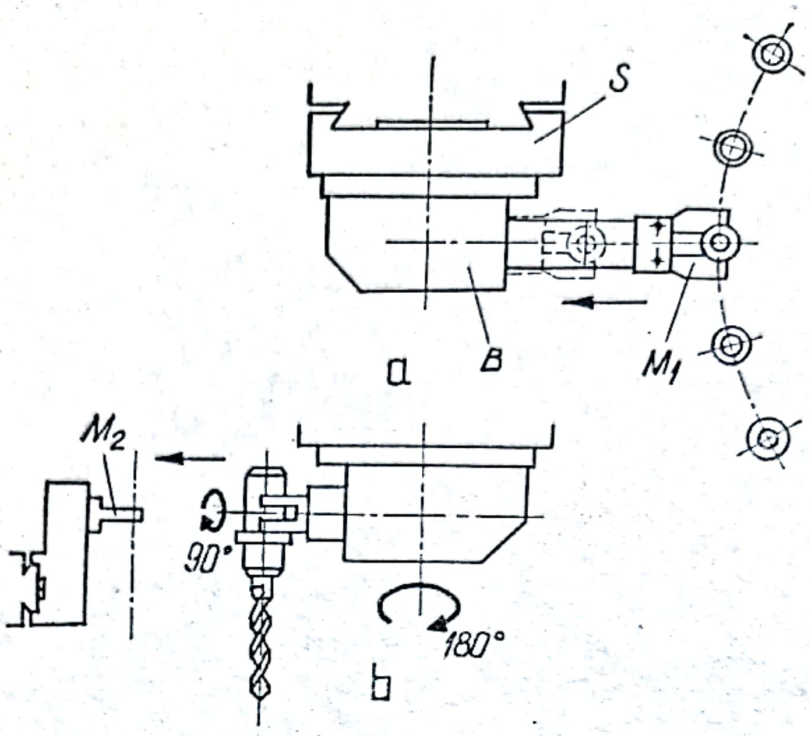


Fig. 8.13. Funcționarea mîinilor mecanice.

Pentru schimbarea sculelor, mașina este dotată cu două mîini mecanice (fig. 8.13), acționate hidraulic. Mîna M_1 este amplasată pe o sanie S care se poate deplasa pe verticală, în dreptul celor patru discuri port-scule ale magazinului.

Pe această sanie, mîna M_1 se află într-un bloc B care se poate roti cu 180°. Mișcarea mîinii constă într-o deplasare axială (fig. 9.13,a) pentru apucarea sculei din magazin, după care urmează retragerea axială a sa. În continuare blocul B se rotește cu 180°, în timp ce mîna se rotește în jurul propriei axe (poz. b) cu 90°, după care se deplasează axial spre mîna M_2.

Fazele în continuare sînt reprezentate în fig. 8.14 și fig. 8.15. În prima secvență se realizează transferul sculei din mîna M_1 în mîna M_2. A doua secvență reprezintă preluarea unei scule din mîna M_2 de către M_1, astfel că M_2, fiind liberă, poate extrage scula din axul principal, conform secvenței a treia. În secvența a patra, prin deplasare pe verticală a ambelor mîini, noua sculă este introdusă în axul principal.

Deși operația este complexă, schimbarea sculei se efectuează în trei secunde, deoarece fazele necesare acestei operații au loc în timp ce scula precedentă se află în lucru.

Centrul de prelucrare este prevăzut cu comandă complet automată (inclusiv poziționarea sculei în raport cu piesa, schimbarea turațiilor

Scanned with OKEN Scanner

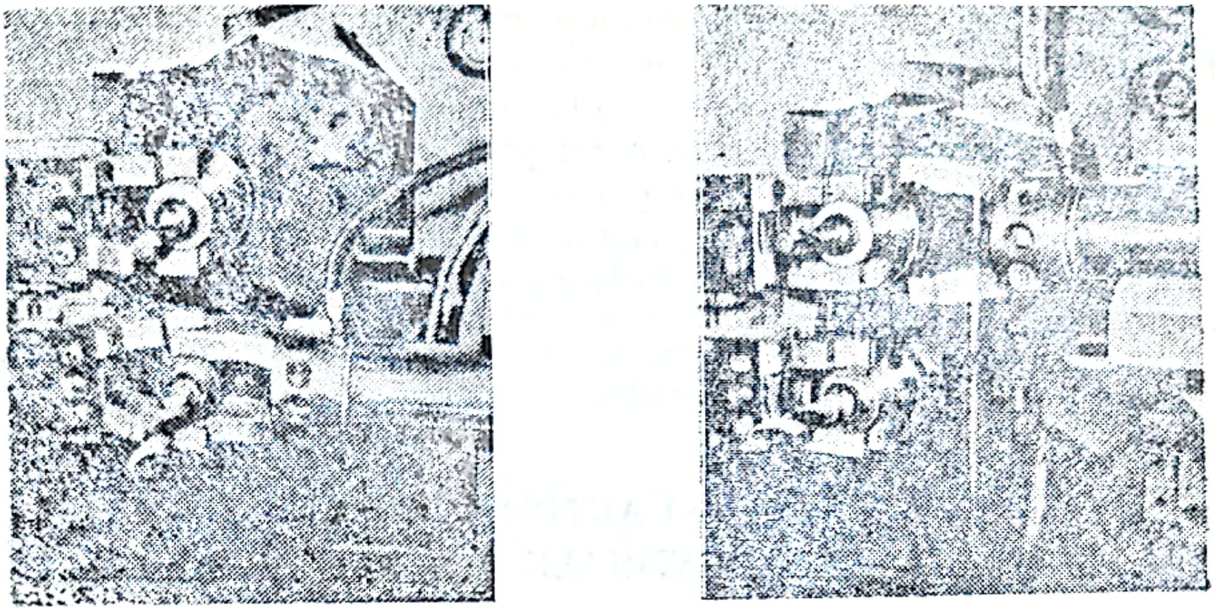


Fig. 8.14. Secvențele 1 și 2 ale operației de alimentare cu scule a mașinii NCMC-100.

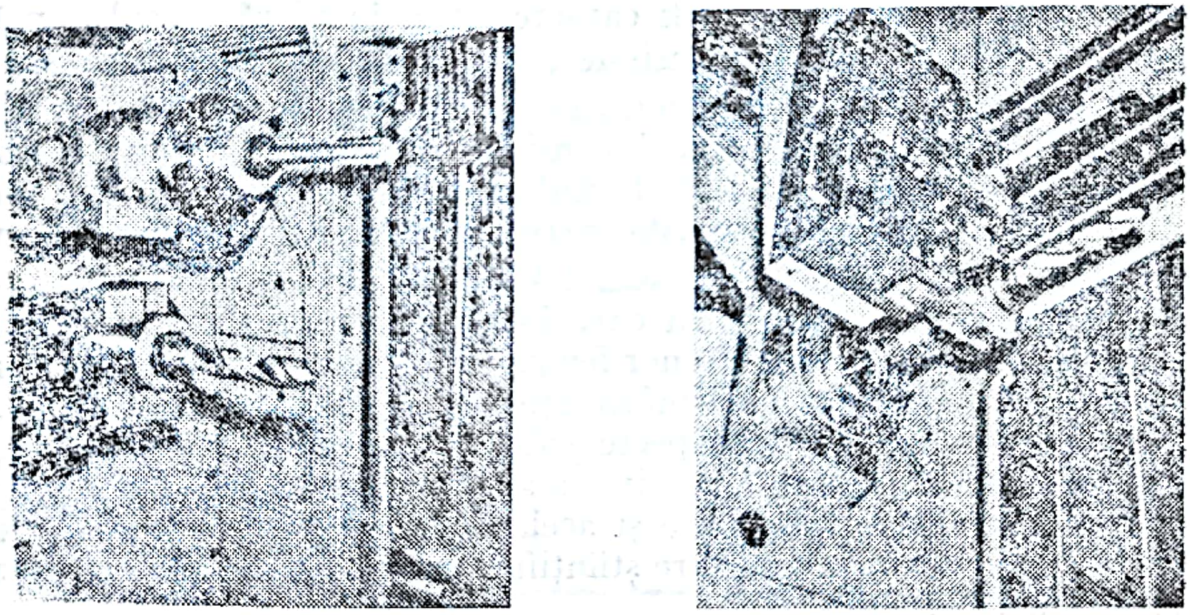


Fig. 8.15. Secvențele 3 și 4 ale operației de alimentare cu scule a mașinii NCMC-100.

etc.) prin programare numerică manuală sau în sistemele EXAPT sau AUTOSPOT.

În vederea prelucrării cu scule cu diametru mare, unul din axele principale este prevăzut cu o gamă de 18 turații între limitele 22 ... ... 1 400 rot/min, iar pentru scule cu diametru mic, 22 turații, între limitele 22 ... 2 800 rot/min.

Scanned with OKEN Scanner

Centrele de prelucrare prezentate, ca și nenumărate altele, au ca bază schimbarea automată a unei singure scule.

Totuși, sînt centre de prelucrare la care se face înlocuirea simultană a mai multe scule, în special în cazul prelucrării pieselor tip carcasă.

Problemele specifice privind alimentarea cu scule din magazin, cum sînt: prereglarea sculelor, codificarea lor, fixarea, eliberarea din magazin etc., pentru rezolvarea cărora există soluții multiple, nu fac obiectul prezentei lucrări.

8.3. INFORMATIZAREA ȘI AUTOMATIZAREA PROCESELOR INDUSTRIALE

Dezvoltarea teoriei cunoașterii în secolul nostru a impus concepția potrivit căreia materia poate fi caracterizată, în afară de substanță și energie, printr-o a treia dimensiune și anume aceea de informație.

În lucrarea [105] se menționează că oamenii de știință s-au lovit de o nouă realitate, de o nouă dimensiune a naturii și anume de complexitatea infinită a acesteia, de faptul că între energie, materie (substanță, n.a.) și informație există o consubstanțialitate, că nici unul dintre aceste trei „elemente" nu poate exista fără celălalt.

Într-o astfel de viziune în care informația reprezintă un concept cu caracter universal, studiul unor fenomene, al unor structuri din punct de vedere al conținutului de informație poate conduce, ca și în cazul conceptului de energie, la aspecte care să intereseze sfere mai largi decît aceea a fenomenului respectiv. În acest context, apare firesc efortul oamenilor de știință, între care și acela al cercetătorilor români, de a formula metodologii de cercetare științifică bazate pe analogie, modelare și simulare cibernetică.

După cum se știe, pe baza conceptului de informație s-a întemeiat o nouă știință, *știința informației*. Din punct de vedere evolutiv, această disciplină, încă în formare, a debutat într-o primă variantă ca teorie a comunicării mesajelor, a continuat apoi cu prelucrarea informației pe calculatoare electronice și în prezent tinde să devină o teorie a informației cu aspect semantic, adică a informației care, pe lîngă aspectele structurale, cuprinde funcțiile semnificației, dar și cu sensuri fenomenologice pe care ființele și, în particular, omul inteligent le posedă [39].

Scanned with OKEN Scanner

La rîndul ei, *informatica* reprezintă o disciplină tehnică cu caracter aplicativ al cărei domeniu de preocupare îl reprezintă automatizarea culegerii, prelucrării și transmiterii informației.

Activitățile în legătură cu producerea, prelucrarea, transmiterea, recepționarea, memorarea și regăsirea informației au devenit unul din sectoarele cele mai importante ale economiilor moderne. Aceasta se explică prin faptul că, pe lîngă informațiile cu caracter constant încorporate în mașini în timpul procesului de fabricație, pe scară socială se adaugă un volum tot mai mare de informații necesare coordonării atît a activității mașinilor, cît și a tuturor participanților la realizarea procesului economic.

În zilele noastre, informatica pătrunde ca infrastructură în toate activitățile industriale, economice și social-culturale.

Nivelul de dezvoltare al utilizării informației în țările industrializate este în concordanță cu nivelul general de dezvoltare al acestora.

Semnificative în acest sens sînt cheltuielile pentru informatică în perioada 1970—1985 ale unor astfel de țări, în procente din produsul național brut.

Un avînt fără precedent îl înregistrează în prezent Japonia care concurează Statele Unite ale Americii în crearea unei societăți informatice.

Țara	1970	1975	1980	1985
S.U.A.	2,1	3,2	5,5	8,7
R.F.G.	4,3	2,4	4,6	7,6
Franța	1,2	2,6	4,4	7,4
Anglia	1,5	2,8	4,7	7,3
Benelux (Belgia, Olanda, Luxemburg)	1,1	2,3	4,2	7,1
Italia	0,8	1,5	3,0	5,4

Progresul tehnic în acest domeniu este marcat de o diversificare a realizării sistemelor informatice utilizînd rețele de calculatoare, distribuite și ierarhizate, de mare complexitate..

Producătorii de calculatoare pun la dispoziția utilizatorilor sisteme de gestiune a bazelor de date, sisteme complexe ce pot fi utilizate prin folosirea de limbaje evoluate, în scopul reducerii timpului de proiectare, precum și sisteme generalizate de gestiune a întreprinderilor care (prin adaptarea la condițiile concrete ale fiecărei unități) satisfac din ce în ce mai mult cerințele utilizatorilor.

Scanned with OKEN Scanner

La o jumătate de secol după inventarea tubului electronic au apărut una după alta inovații tehnologice în domeniul electronicii. S-a început cu tranzistorul descoperit în laboratoarele Bell în 1954, a continuat cu circuitul integrat inventat de firma Texas Instruments (S.U.A.) în 1958 și cu microprocesorul, în 1972, în laboratoarele firmei Intel (S.U.A.).

Densitatea de integrare a marcat o creștere exponențială ajungînd de la cîteva zeci de tranzistori pe o pastilă de siliciu (fig. 8.16). la cîteva mii în 1970 și la cîteva sute de mii în 1981.

Cifra de integrare și-a urmat cursul, crescînd în continuare, dar în aceeași perioadă de timp prețul unitar s-a redus de 100 de ori [41], în condițiile în care prețul petrolului, de exemplu, a crescut de 15 ori.

Inteligența artificială a calculatoarelor, ecranele de afișare plate, vocea sintetică, fibrele optice ș.a., toate reprezintă elementele noii revoluții industriale care vor marca sfîrșitul acestui secol.

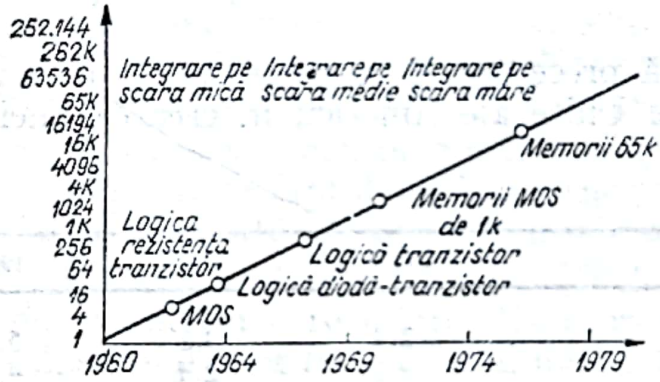


Fig. 8.16. Evoluția densității de integrare pe un circuit miniaturizat.

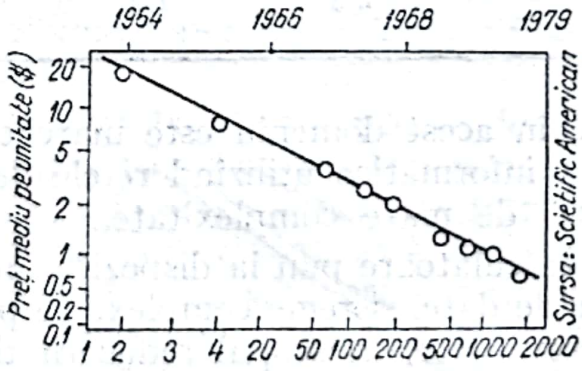


Fig. 8.17. Evoluția prețurilor circuitelor integrate în funcție de producția industrială cumulată. Sursa: Scientific American.

Scanned with OKEN Scanner

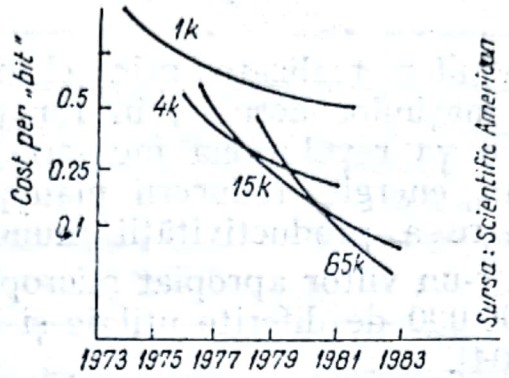


Fig. 8.18. Evoluția prețului unui „bit" de memorie RAM la fiecare generație 1K, 4K, 65K. Sursa: Scientific American.

Tendințele actuale ale evoluției informaticii se orientează în două direcții, aparent divergente, fără însă o delimitare riguroasă a acestora:

— dezvoltarea unor sisteme informatice cu capacități și performanțe din ce în ce mai mari, extinzîndu-se la scara unui continent și atingînd puteri de calcul prodigioase. Un asemenea sistem informativ a fost instalat de Organizația europeană pentru cercetare nucleară de la Geneva-Elveția;

— miniaturizarea circuitelor integrate, conducînd la realizarea unor mini- sau microcalculatoare de dimensiuni din ce în ce mai reduse.

Miniaturizarea microprocesoarelor conturează *tendința de integrare a echipamentelor de automatizare în ansamblul utilajelor tehnologice pînă la un nivel apropiat de pierderea identității proprii a celor două grupe de instalații* (de automatizare și tehnologice), oferind astfel posibilitatea încorporării unei mari cantități de informație în volume deosebit de reduse, pentru o largă gamă de utilaje.

Se înțelege că în întîmpinarea acestui proces se îndreaptă și construcția elementelor de execuție, care, la rîndul lor, marchează o evoluție în sensul adaptării lor la noile tipuri de dispozitive de automatizare.

Rezultă că miniaturizarea din electronică prezintă efecte economice care depășesc cu mult sfera propriei ramuri industriale. Efectul său indirect asupra construcției de mașini constă în înlocuirea treptată a elementelor mecanice folosite pentru prelucrarea informației (exemplu comanda unor operații) prin ansamble microelectronice [2]. Se au în vedere acele elemente mecanice care nu au de fapt un rol în realizarea funcției de bază a mașinii și nici nu contribuie la asigurarea structurii de rezistență a acesteia. Astfel de elemente sînt susceptibile de a fi în-

Scanned with OKEN Scanner

locuite cu microprocesoare în condițiile folosirii unor traductori electrici la un cost redus.

Transferarea funcțiilor realizate prin elemente mecanice, care abundă în structura mașinilor actuale, în funcții realizate prin elemente microelectronice va revoluționa industria sub raportul economiei de materii prime, energie, reducerii manoperei de fabricație și creșterii corespunzătoare a productivității muncii etc.

S-a calculat că într-un viitor apropiat microprocesoarele vor putea fi aplicate la peste 200 000 de diferite utilaje și agregate în domeniul industrial și casnic [104].

Pentru a reda o imagine asupra impactului microelectronicii asupra tuturor sectoarelor de activitate ale vieții contemporane, în tabelul 8.1 este redată lista aplicațiilor specifice a microcalculatoarelor, întocmită de Japan Electronic Industry Development.

Tabelul 8.1

Aplicații specifice ale microcalculatoarelor*

Domenii de aplicare	Utilizator	Produse specifice
1	2	3
A. Electronica de consum și sectorul electromenajer	1. Autoturisme	Calculator de bord
	2. Aparate electrocasnice	Televizoare, cuptoare cu microunde, mașini de țesut, magnetofoane, mașini de spălat, aparate cu gaz, calculatoare casnice, echipament de bucătărie.
	3. Calculatoare electronice	Calcule de nivel înalt
	4. Jocuri	Jocuri video
	5. Învățământ	Material audiodidactic
	6. Diverse	Proiectoare de cinematograf 8 mm, distribuitoare automate
B. Sector terțiar	1. Calcul de birou	Calculatoare de birou, unități de colectare a datelor, prelucrarea facturilor
	2. Controlul vînzărilor și al stocurilor	Unități de control a stocurilor
	3. Prelucrarea	Mașini de scris și unități de prelucrare a textului
	4. Contabilitatea vînzărilor	Terminale puncte de vînzare, case de înregistrat electronice

* Listă stabilită de Japan Electronic Industry Development Association.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.1 (continuare)

1	2	3
	5. Sisteme financiare și terminale	Sisteme terminale, terminale financiare inteligente cu ecran catodic, terminale de control al intrărilor
	6. Echipamente de birou și diverse	Mașini de copiat, calculatoare de birou
C. Industrie	1. Material de producție	Comenzi numerice, mașini pentru sudat programabile, mașini de montaj, programarea automatizată a materialului de producție, automatizarea mașinilor-unelte.
	2. Comanda mecanismelor	Mașini de ambalat, dispozitive de cîntărire-ambalare automate cu control secvențial, sisteme automate de clasificare și transport, controlere, mașini pentru industria ceasornicăriei, mașini agricole, roboți, mașini de conectat comanda climatizoarelor, dispozitive aplicatoare.
	3. Comanda proceselor	Comanda proceselor mixte, comanda instalațiilor chimice, comanda cuptorului cu microunde, comanda circulației gazelor, sisteme de comandă a centralelor electrice.
	4. Înregistratoare de date	Înregistratoare de date, înregistratoare numerice multicanal de mare viteză, înregistratoare de date pentru producția de electricitate, multiplexoare de date multicanal, control de date de încercare.
	5. Controlul producției	Monitoare de exploatare, controlul producției, prelucrarea facturilor, sisteme de alimentare electrică auxiliară, refrigeratoare industriale și utilaje agricole.
	6. Diverse	Controlere
D. Circulație și transport	1. Comanda semnalelor	Materiale de comandă de semnal, echipament central de control.
	2. Controlul exploatării	Controlul exploatării, sisteme de supraveghere a circulației rutiere, informații asupra circulației, sisteme automate de supraveghere centralizată a materialelor mobile, sisteme de supraveghere a trenurilor electrice.
	3. Automatizarea operațiilor în gări	Receptoare automate. Mașini de distribuit bilete.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.1 (continuare)

1	2	3
	4. Transporturi maritime și aeriene	Echipamente de navigație, dispozitive de navigație prin satelit, sisteme de navigație Omega.
	5. Diverse	Dispozitive de prelucrat rapoartele privind incidentele la bord, dispozitive de pilotaj automat, aparate de simulare.
E. Măsură. Încercări. Supraveghere	1. Aparate de măsură	Analizoare de imagini, mașini pentru măsurarea dimensiunilor, ampermetre Doppler lasser, compilatoare de date meteo, compilatoare de temperaturi multipuncte, integratoare numerice, sisteme de analiză a coordonatelor, sisteme de control al accelerării protonilor, aparate de măsură a interferenței undelor luminoase, aparataj de corecție a lungimii de undă a laserului, spectrofotometre automate, areometre automate, controlere de motoare.
	2. Analizoare	Prelucrarea datelor analizei sîngelui, dispozitive de control și măsură a reacțiilor chimice experimentale, analizoare de vibrații, analizoare spectrale infraroșu, sisteme de analiză a zgomotului, analizoare automate a gazelor din petrol, cromatografe.
	3. Echipamente de încercare și control	Controlere automate de cartele logice, sisteme de control pentru piese din industria ceasornicelor, sisteme de control ale circuitelor electronice, controlere de circuite electronice, sisteme de încercare a motoarelor hidraulice, sisteme de măsuri ale caracteristicilor tranzistorilor, sisteme de încercare a dinamurilor, dispozitive de control pentru depistarea defectelor plachetelor pentru circuite integrate, controlere de memorii, dispozitive de control al capacității instalațiilor, echipamente automate pentru controlul tranzistorilor.
	4. Supraveghere	Sisteme de supraveghere-alarmare, sisteme de supraveghere pentru preîntîmpinarea catastrofelor, sisteme de detectare a pierderilor de gaz, înregistratoare de date pentru baraje, echipamente pentru supravegherea iradierii,

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.1 (continuare)

1	2	3
		dispozitive de înregistrare a orarelor trenurilor, sisteme de supraveghere la distanță pentru companiile de electricitate, sisteme de supraveghere a producției, dispozitive de supraveghere a cuptoarelor electronice, sisteme de supraveghere a semnalelor.
	5. Electronică medicală	Rinichi artificial, echipamente de diagnostic fizic, analizoare medicale, dispozitive radiografice, dispozitive de control automat al funcțiilor pulmonare, aparate de radioscople prin difracție, antene medicale mobile.
	6. Diverse	Relee de protecție, sisteme de control al memoriilor magnetice cu bule, controlere de material pentru microcalculatoare, dispozitive de exploatare automată, aparate de măsură a undelor radioelectrice polarizate.
F. Telecomunicații	1. Centrale telefonice	Centrale electronice, dispozitive de taxare automată
	2. Transmisia datelor	Telefoane numerice, dispozitive de control al comunicațiilor pentru unități terminale, dispozitive de numărat la distanță, terminalele sistemelor bancare on-line.
	3. Transmisia imaginilor	Dispozitive de afișaj-grafie, dispozitive de listare, codere de noutăți sportive.
	4. Radiocomunicații	Comenzi pentru radiotelefon, dispozitive radio pentru supravegherea la distanță, telefoane de bord pentru vapoare, stații mobile de telecomunicații prin satelit.
	5. Radiodifuziune televiziune	Zoom electronic, sisteme de legătură între studio și emițător, sisteme de poziționare automată a camerelor TV, supresoare de ecou, traductoare automate de adrese pentru magnetoscop, dispozitive de transmisie automată a programelor.
	6. Diverse	Dispozitive de indexare, comanda/regularea eolienelor, codificarea sunetului, decodaj, răspuns vocal.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.1 (continuare)

1	2	3
G. Prelucrarea datelor	1. Calculatoare universale	Calculatoare individuale, sisteme de dezvoltare a programelor, prelucrarea datelor, multimicroprocesoare, minicalculatoare universale, sisteme de dezvoltare pentru microcalculatoare.
	2. Echipament terminal periferic	Terminale de intrare inteligențe, controlere intrare-ieșire, controlere discuri suple, controlere imprimantă, controlere de decuplare a sarcinii, procesoare de recunoaștere optică a caracteristicilor, concentratoare, terminale de date, sisteme video de precizie.
	3. Echipament de calcul științific și tehnic	Calcul științific și tehnic
	4. Diverse	Dispozitive de încercare a filtrelor numerice
H. Diverse	1. Geranța imobilelor	Sisteme de geranță
	2. Sisteme hoteliere	Hotele
	3. Gestiunea sistemelor	Sisteme mixte de supraveghere și control anticatastrofă, sisteme educaționale, sisteme de supraveghere pentru economisirea electricității, sisteme de securitate.
	4. Diverse	Comanda bateriilor, a ascensoarelor, dispozitive de prelucrare a datelor meteo.

În condițiile în care utilizarea informaticii capătă dimensiuni imprevizibile, conceptul de „informație" — care reprezintă o noțiune de mare generalitate — este definit de diverși autori în mod diferit.

În sens primar, termenul de informație înseamnă o înștiințare în general, un mesaj despre evenimente care au avut sau vor avea loc. Odată cu dezvoltarea ciberneticii și a teoriei generale a sistemelor, acest termen — deși și-a păstrat semnificația inițială — în științele menționate s-a concretizat și a început să fie utilizat într-un sens mai precis, pentru a exprima ceea ce știe sau află observatorul referitor la sistem și la mediul în care acesta funcționează.

Informația obținută de observator referitor la un anumit sistem poate rezulta dintr-un experiment activ sau prin observarea sistemului, iar în cazul sistemelor abstracte și prin deducție logică. Cunoștințele

Scanned with OKEN Scanner

observatorului asupra sistemului înainte de experiment se numesc apriorice, iar după experiment aposteriorice.

Realizînd comanda unui sistem în concordanţă cu scopurile sale, observatorul examinează informaţia sub diferite aspecte. Dintre acestea se reţin a fi mai importante: aspectul pragmatic (referitor la scopurile observatorului), aspectul semantic (referitor la conţinutul semnificativ şi la interpretarea corectă a informaţiei) şi aspectul sintactic (material-energetic, semiotic, tehnologic; referitor la modalitatea şi tehnica transmiterii informaţiei). În mod corespunzător se poate vorbi despre informaţie pragmatică (care are un caracter mai general) şi informaţie semantică sau sintactică (care au o importanţţă relativ subordonată).

În informatica clasică un rol deosebit îl are sintaxa, deoarece în limbajele de programare a calculatoarelor actuale, bazate pe procedee algoritmice, nu pot fi acceptate decît mesaje fără nici o eroare de sintaxă. Semnificaţia informaţiei sintactice se limitează strict numai la operatorul ce o foloseşte cu înţeles pentru el.

Spre deosebire de programele informaticii clasice, care tratează sintactic informaţia, aşa-numitele „sisteme expert" sau conceptele privitoare la proiectarea calculatoarelor din generaţia a V-a sînt bazate pe inteligenţă artificială. Acestea tratează şi în mod semantic informaţia în raport cu lumea înconjurătoare, chiar dacă nu este vorba de o semantică completă, asemănătoare celei întîlnită în mod curent la om.

Perioada programelor algoritmice, specifice informaticii clasice, s-a dezvoltat pe două direcţii: prima corespunde informaticii concentrate în puternice centre de calcul, iar a doua este reprezentată de dezvoltarea informaticii distribuite (v. tabelul 8.1.), cu extindere pînă la locul de muncă şi activităţi la domiciliu.

Cercetările privind conceptul de informaţie se desfăşoară pe două căi: cercetarea informaţiei din afara organismelor vii (informaţia environmentală), cum este informaţia artificială sintactică şi semantică cu semnificaţia formală din sistemele tehnologice şi cercetarea informaţiei corpurilor vii (informaţia genetică conţinută în moleculele ADN şi ARN) şi a informaţiei sistemului nervos central al organismelor superioare.

Unul din principalii cercetători japonezi, Yoneji Masuda, promotor al teoriei societăţii informaţionale în Japonia, întrevede un cuplaj, o unificare între informaţia environmentală şi informaţia corpurilor vii. Această perioadă va caracteriza cea de a treia mare etapă a informaticii ce urmează succesiv după primele două, reprezentate de perioada informaticii clasice şi respectiv perioada informaticii inteligenţei artificiale.

Scanned with OKEN Scanner

În vederea realizării de sisteme optime (raționale) de transmitere și de prelucrare a informației, se impune o evaluare cantitativă neechivocă a informației, cel puțin la cele trei niveluri menționate mai înainte (pragmatic, sintactic și semantic).

Datorită puternicei dezvoltări a teoriei matematice a comunicării (numită uneori teoria informației), succesele cele mai mari în evaluarea cantitativă a informației s-au obținut la nivel sintactic. Începutul a fost deschis în domeniul transmiterii de mesaje pe canale de comunicații prin crearea codului telegrafic (1838) cunoscut astăzi sub denumirea de alfabetul Morse.

În ceea ce privește cuantificarea informației environmentale înmagazinate într-un produs oarecare s-a adoptat ca măsură a cantității de informație termenul de *entropie*, introdus în termodinamică în 1865, de către R. Clausius și dezvoltat apoi de L. Bolzmann, în sensul că informația este egală cu nedeterminarea (dezordinea) înlăturată.

Identificarea cantității de informație ca factor comun pentru o anumită clasă de obiecte sau probleme, dintr-un anumit sistem, deschide posibilitatea cuantificării gradului de organizare, respectiv al gradului de dezorganizare sau de entropie a sistemului considerat.

Plecînd de la această idee în lucrarea [6] se folosește conceptul de entropie, în sensul informațional, calculată pe baza relației lui Claude Schannon, pentru determinarea cantitativă a factorului perturbant al unui sistem industrial. Se ajunge pe această cale la posibilitatea comparării unităților industriale, indiferent de natura lor, pe criterii strict organizatorice.

Problema principală cercetată de C. Shannon constă în următoarele:

Fie o sursă de mesaje, generînd mesaje de un anumit fel (de exemplu, un text — o succesiune de semne dintr-un anumit alfabet) și fie un canal de legătură cu perturbări (zgomote). Cum să se realizeze codificarea mesajelor cu ajutorul semnalelor electrice astfel încît să se asigure transmiterea cea mai rapidă a mesajelor prin canal? Cu ce viteză se poate transmite un mesaj pe un canal anumit fără erori sau cu un nivel dat de eroare?

C. Shannon a propus următoarea măsură a cantității de informație

$$H(A_n) = \sum_{k=1}^{k=n} p_k \log p_k \tag{8.5}$$

în care A_n este un cîmp finit de posibilitate

$$A_n = (p_1, p_2, \ldots, p_k, \ldots, p_n) \tag{8.6}$$

$$p_k \geqslant 0, \quad 1 \leqslant k \leqslant n, \quad \text{iar} \quad \sum_{k=1}^{k=n} p_k = 1$$

Scanned with OKEN Scanner

în care p_k reprezintă posibilitatea de a se alege simbolul k din colecția totală de n simboluri pe care le elaborează sursa de mesaje. Mărimea H (entropia) se măsoară în biți (de la binary digit—unitate binară). Entropia sursei de mesaje se măsoară în biți de mesaje pe cuvînt sau pe literă. Entropia sursei este cu atît mai mare cu cît este mai mare numărul de mesaje din care sursa poate să facă o alegere.

Teoria informației, dezvoltată în bună parte și de Shannon între anii 1943 și 1948, constituie punctul de plecare în explicarea conducerii numerice a mașinilor-unelte, care sînt privite ele însele ca sisteme de prelucrare a informațiilor.

În raport cu cele arătate se impune necesitatea reconsiderării conceptului general de „mașină" din unghiul de investigare al informaticii. Astfel, mașina-unealtă convențională, ca dealtfel orice mașină, înmagazinează o anumită cantitate de informații chiar din faza de proiectare, suportul acestor informații fiind desenul tehnic. În faza de execuție, aceste informații sînt transferate în geometria și dimensiunile pieselor componente, precum și în modul de asamblare a lor.

Deosebirea esențială între diferite tipuri de mașini, indiferent de destinația lor, este determinată de pachetul de informații ce i se transmite fiecăreia dintre ele în perioada execuției fizice. Aceste informații au un caracter fix, întrucît orice modificare a lor implică necesitatea unor modificări constructive ale mașinii.

Comparîndu-se din punct de vedere informațional două mașini, de exemplu, locomotiva cu abur și locomotiva Diesel electrică, s-a ajuns la următoarea concluzie:

Cantitatea de informație calculată după formula lui Shannon adaptată, în cazul locomotivei cu abur este egală cu 80 000 de biți. Calculul a luat în conriderare numărul de 8 000 părți componente avînd o toleranță medie admisă de 0,1 mm la o piesă de 100 mm. Inversul toleranței este deci 1 000 ($q = 10^3$; $I = 80 \times 10^3$ biți).

Procedînd în mod similar pentru locomotiva Diesel electrică cu un număr de piese de 30 000 bucăți și toleranța admisă 0,05 mm, s-a obținut cantitatea de informație de 330 000 biți. ($p = 2 \times 10^3$, $I = 330 \times 10^3$ biți).

Dacă în cazul locomotivelor amintite criteriul de alegere și transmitere a informațiilor mașinii în perioada sa de construcție îl reprezintă consumul de energie pe durata de exploatare, în cazul mașinilor-unelte acest criteriu este reprezentat de gradul de universalitate al mașinii, care trebuie să fie cît mai mare în condiții de complexitate constructivă proprie cît mai redusă.

Caracterul de permanență al informațiilor înmagazinate de mașina-unealtă convențională în perioada de concepție și fabricație reprezintă un factor ce determină un anumit grad de „rigiditate" în ceea ce privește

Scanned with OKEN Scanner

posibilitatea de adaptare la sarcini de producție diferite. Îmbunătățirea gradului de flexibilitate al mașinii prin înmagazinarea unei cantități suplimentare de informații, pe lîngă faptul că complică construcția, conduce la realizarea unor costuri de producție peste limitele admisibile. De aceea s-a ajuns la concluzia unei selectări a informațiilor strict utile, care să fie date factor comun la prelucrarea unor piese de un anumit specific tehnologic. Diferența de informații necesare pentru a se realiza produsul finit, la prelucrarea fiecărei piese în parte pe mașinile-unelte convenționale, o acoperă operatorul uman care îndeplinește funcția de comandă în timpul manevrării acestora.

Prin urmare, un factor determinant în prelucrarea unor piese pe mașini-unelte tradiționale îl reprezintă priceperea și experiența operatorului, care este singurul în măsură să ia decizii cu privire la transmiterea tuturor datelor din planurile de operații, să emită comenzi și să supravegheze toate operațiile din timpul procesului de lucru. Pe măsura creșterii gradului de automatizare al mașinii, funcțiile operatorului uman sînt diminuate și tind către zero în cazul mașinilor automate.

8.3.1. ELEMENTE PRIVIND TRECEREA DE LA TEHNICA DE AUTOMATIZARE CONVENȚIONALĂ (TRADIȚIONALĂ) LA AUTOMATIZAREA FLEXIBILĂ REALIZATĂ CU CALCULATORUL

Dezvoltarea tehnicii de calcul și folosirea ei în automatică a permis realizarea eficientă și îmbogățirea funcțiilor de conducere a proceselor tehnologice continue și discrete.

Automatizarea clasică (convențională), realizată prin structuri analogice sau numerice specializate, nu permite o programare flexibilă a structurilor de comandă.

Folosirea calculatoarelor în conducerea proceselor ușurează programarea structurilor de comandă, creșterea complexității algoritmilor de comandă și a informării operatorului tehnolog asupra desfășurării procesului.

Caracteristic pentru un automat rigid (cablat) este faptul că el poate fi utilizat numai pentru un anumit proces tehnologic, destinat pentru fabricarea unui anume produs, deoarece recablarea lui pentru adaptarea la alt proces tehnologic sau produs constituie o operație costisitoare și necesită un timp îndelungat. Din această cauză, automatizarea rigidă este deosebit de eficientă pentru tipul de producție discretă de masă și la producția continuă de mare volum (din domeniul chimiei, metalurgiei etc.), pentru realizarea cărora sînt necesare operații tehnologice cu succesiuni de mișcări repetabile.

Scanned with OKEN Scanner

Necesitatea creșterii productivității muncii în sfera producției diversificate de serie mică și mijlocie, care deține ponderea în producția industrială, a implicat folosirea structurilor electronice programabile, precum și a automatelor programabile, care reprezintă o formă particulară a acestora.

Automatizarea complexă (cu calculatoare electronice) se caracterizează prin posibilitatea trecerii de la automatizarea unui proces tehnologic la altul numai prin *schimbarea programului aceluiași calculator* și realizarea unor interfețe de intrare și ieșire adaptate fiecărui proces tehnologic în parte.

Sistemul de conducere prin calculator sau cu automate programabile reprezintă un sistem de calcul în „timp real", în sensul că el este capabil să urmărească și să acționeze în timp util asupra desfășurării procesului tehnologic. Funcționarea sa poate fi independentă sau poate fi corelată cu a celorlalte componente ale sistemului informațional al unei întreprinderi.

După cum rezultă din fig. 8.19, un automat cu conexiuni sau cablat necesită o cantitate importantă de funcțiuni logice de bază (*n* funcții ȘI, *m* funcții SAU etc.).

Principiul constructiv al unui sistem logic programat este de a înlocui multitudinea de celule elementare prin cîte o singură celulă pentru fiecare funcție de bază (fig. 8.20).

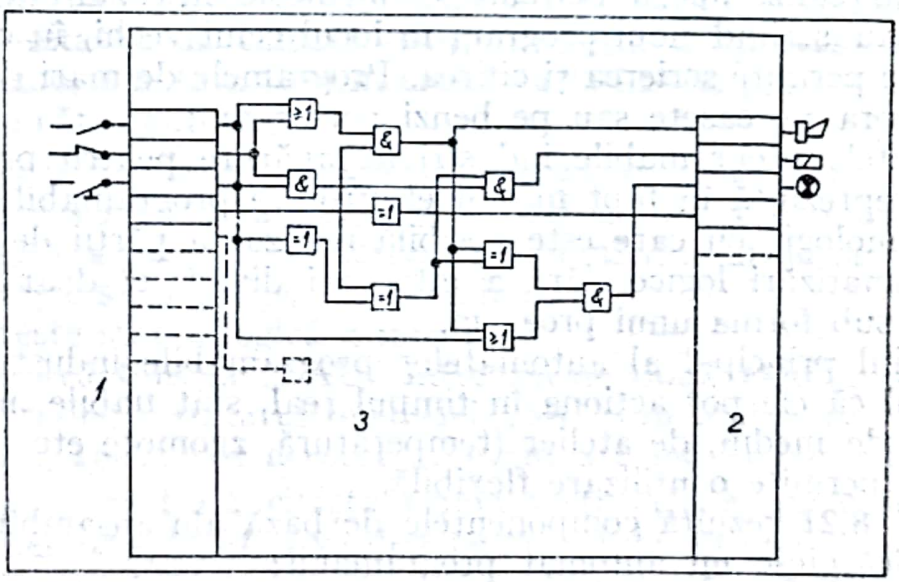


Fig. 8.19. Principiul constructiv al unui automat cu cablaje electrice sau pneumatice:

1 — captare; *2* — acționare și semnalizare; *3* — *n* funcții ȘI; *m* funcții SAU; *l* funcții NU; *k* — funcții SAU etc.

Scanned with OKEN Scanner

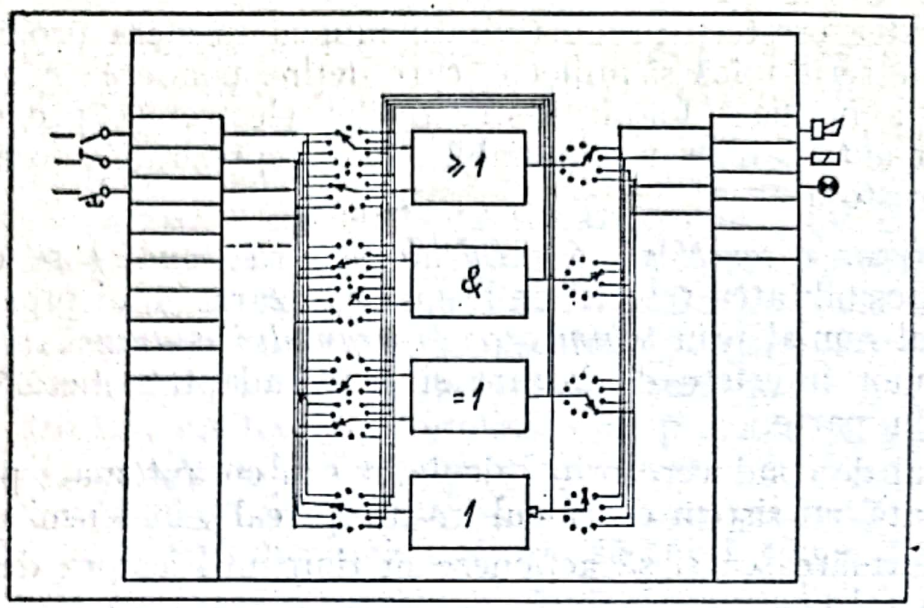


Fig. 8.20. Principiul constructiv al unui automat programabil:
1 — captare; *2* — acționare și semnalizare.

Aceste funcții de bază (ȘI, SAU, NU etc.) sînt chemate la cerere și sînt puse în legătură cu intrările, ieșirile sau cu alte funcții, urmărind ordinele date de un program plasat într-o memorie.

În cazul unui automat programabil, partea sa centrală este alcătuită din unitatea logică care realizează cîteva funcții de bază (ȘI, SAU, NU etc.). Instrucțiunile de bază rămîn aceleași, oricare ar fi sistemul de automatizat, fiind deci foarte ușor de modificat o automatizare printr-o simplă schimbare de program. O astfel de schimbare se poate realiza folosind circuite de memorie, în cazul unei memorii read only sau scriind noul program în locul celui vechi, în cazul unei memorii care permite scrierea și citirea. Programele de mari dimensiuni se pot memora pe casete sau pe benzi perforate.

Automatele programabile industriale, apărute pentru prima dată în S.U.A., reprezintă în fapt mașini electronice programabile, ce constituie o tehnologie cu care este posibilă realizarea părții de comandă a unei automatizări logice, fără a interveni direct, ci doar furnizînd instrucțiuni sub forma unui program.

Avantajul principal al automatelor programabile industriale constă în faptul că ele pot acționa în timpul real, sînt fiabile, insensibile la condițiile de mediu, de atelier (temperatură, zgomote etc.), iar programarea le permite o utilizare flexibilă.

Din fig. 8.21 rezultă componentele de bază ale ansamblului electronic ce alcătuiesc un automat programabil:

a) intrările (în stînga), notate cu *1*, la care sînt conectați traductorii *1*, *2* și *3*. Valoarea de intrare 0 sau 1 este apoi memorată într-un registru reprezentat pe desen printr-un pătrat.

Scanned with OKEN Scanner

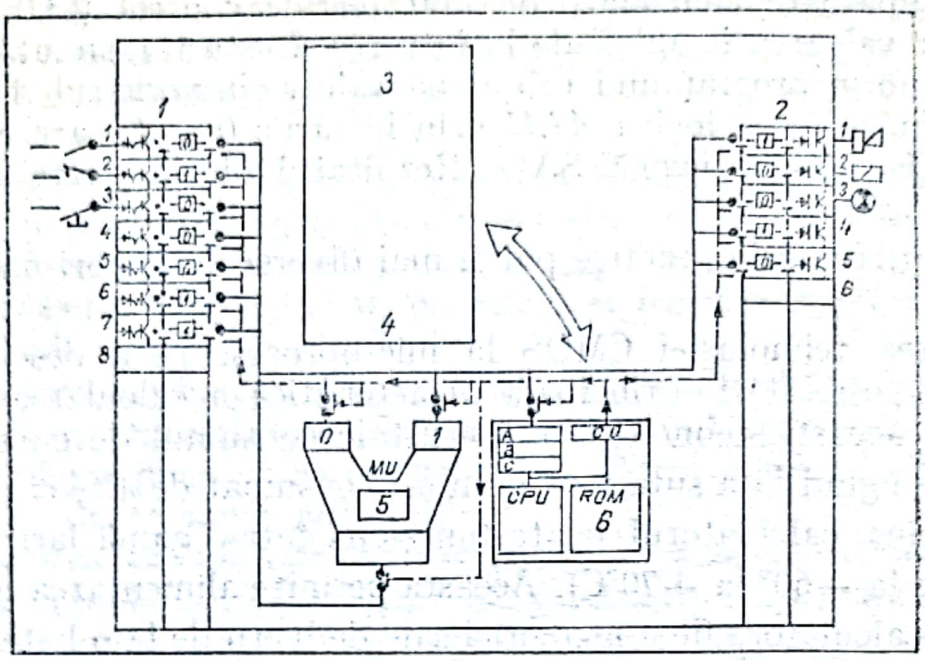


Fig. 8.21. Schema sinoptică a diferitelor module care compun un automat programabil industrial.

b) ieșirile (în dreapta), notate cu 2, sînt prevăzute ca și intrările cu registre de memorare și o interfață cu funcții multiple;

c) unitatea aritmetică și logică *ALU* (Aarithmetic and Logic Unit) care realizează instrucțiunile logice (ȘI, SAU etc.) și aritmetice (adunare, numărare etc.). Rezultatul prelucrării este transportat automat la ieșirea din unitatea *ALU*;

d) unitatea centrală de proces *CPU* (Central Process Unit), registrele *A, B, C*, unitatea de control (*CO*), memoria de proces (*ROM*);

e) memorie notată cu *4* în care se află înscris programul ce trebuie realizat de către automat.

În această schemă programul constă în stabilirea pentru ieșire a numărului *1* a rezultatului logic al operației SAU dintre intrările *1* și *2*. Aceasta se traduce, de exemplu, prin limbajul următor:

— citește starea logică a intrării *1*;
— citește starea logică a intrării *2*;
— rezolvă funcția „SAU" între aceste două valori;
— introduc rezultatul operației „SAU" în ieșirea *1*.

Practic, realizarea acestui program are loc în felul următor:

Unitatea centrală citește prima instrucțiune, pe care o traduce folosind memoria *ROM* și va deduce modul de acțiune.

Conform primei instrucțiuni, imaginea intrării *1* (starea logică a registrului *1*) este transferată în registrul *A*. Traseul este simbolizat pe desen prin linia *L* prevăzută cu conectări la intrarea *1* și la registrul *A*

Scanned with OKEN Scanner

prin întrerupătoare controlate de unitatea de control (CO). În mod asemănător valoarea imaginii de la intrarea *2* este transferată în registrul *B*. Conform programului cele două valori din registrul *A* și *B* sînt transmise în unitatea logică *ALU* prin intrările *0* și *1*, care efectuează la rîndul ei operația logică SAU. Rezultatul obținut este transferat automat la ieșirea 1.

Evident, cazurile practice pot fi mai diverse și deseori mai complicate.

Folosirea tehnologiei CMOS la microprocesoare a deschis noi și importante posibilități. Principala caracteristică a calculatoarelor care fac apel la această tehnologie o constituie consumul de curent foarte redus, el ajungînd la a suta parte din cel consumat de alte circuite integrate. În plus, calculatorul poate funcționa într-o gamă largă de temperaturi (de la —60° la +70°C). Aceasta permite alimentarea fie a întregului microcalculator, fie a memoriei sale de lucru de la o baterie, avînd astfel avantajul unei conservări mai sigure a informației în memorie. Pe de altă parte, pentru aplicații industriale a apărut posibilitatea folosirii microcalculatoarelor direct la locul de producție, cum sînt, de exemplu, atelierele la care temperatura variază în limite largi.

Din examinarea aplicațiilor realizate de calculator rezultă că dezvoltarea tehnicii numerice și a mijloacelor automate de prelucrare a informației au introdus o dimensiune nouă în domeniul reglării automate. S-a lărgit clasa proceselor controlate și preluarea de către diferite mașini a unei părți tot mai mari din activitatea decizională a omului.

Creșterea capacității de prelucrare a informației prin utilizarea calculatoarelor și a automatelor programabile a permis îmbogățirea funcțiilor de conducerea și controlul dinamicii proceselor industriale, transformînd succesiv sistemele convenționale de reglaj automat în sisteme adaptive, apoi instruibile și autoinstruibile, sisteme asupra cărora s-a scris o bogată literatură de specialitate.

Prin analogie cu lumea organismelor vii, rezultă deci că scara evolutivă a sistemelor de reglare automată, caracterizată prin *transformarea sistemelor clasice de reglaj automat în sisteme adaptive, apoi în instruibile și în ultima vreme în autoinstruibile*, ce conduce treptat la preluarea unei părți tot mai însemnate din activitatea decizională a omului, nu reprezintă decît un pas important într-o *evoluție cibernetică*, ce repetă în *domeniul metodelor de lucru, modelele evoluției biologice*.

Scanned with OKEN Scanner

8.3.2. COMANDA ADAPTIVĂ A MAȘINILOR-UNELTE CU COMANDĂ NUMERICĂ PRIN UTILIZAREA CALCULATOARELOR ELECTRONICE DE CALCUL

Linia directoare în automatizarea totală a mașinilor-unelte urmărește, în final, realizarea uzinelor complet automate. O etapă intermediară în realizarea acestui obiectiv se consideră a fi introducerea calculatoarelor în sistemul de comandă și conducere a mașinilor-unelte cu comandă numerică.

În afară de funcția de conducere, într-un astfel de sistem de prelucrare integrat, calculatoarele pot fi utilizate și pentru autooptimizarea parametrilor regimului de așchiere, în vederea obținerii unui proces de prelucrare de maximă eficiență.

Folosirea calculatoarelor electronice în stadiul de dezvoltare tehnologică actuală s-a concretizat cu prioritate pe următoarele direcții:

— comanda adaptivă a mașinilor-unelte NC;
— conducerea uneia sau a unui grup de mașini-unelte NC;
— programarea asistată de calculator a mașinilor-unelte NC.

Se deosebesc două sisteme de conducere prin calculator:

— Sistemul CNC (Computerized Numerical Control), caracterizat prin *conducerea unei singure mașini-unelte sau a mai multor mașini-unelte similare care execută simultan aceleași operații*. În acest caz, calculatorul preia, de regulă, o parte din funcțiile echipamentului numeric;

— sistemul DNC (Direct Numerical Control), caracterizat prin aceea că asigură *conducerea centralizată a unui grup de mașini-unelte cu comanda numerică*. În cadrul unor astfel de sisteme calculatorul asigură realizarea suplimentară a unor funcții, cum ar fi: elaborarea programelor piesă, planificarea și controlul producției, distribuirea și evidența materialelor și a sculelor, comunicări între operatori și calculator etc.

Comanda adaptivă poate fi implementată ușor atît în sistemul de conducere CNC, cît și în sistemul DNC.

Este cunoscut că mașinile-unelte cu comandă numerică prezintă o anumită rigiditate în ceea ce privește posibilitatea modificării traiectoriei sculei, a turației și avansului în timpul procesului de așchiere. Aceasta se explică prin faptul că parametrii de mișcare respectivi sînt permanent controlați prin intermediul informațiilor programate aprioric pe suportul de informații și, odată transmise sistemului numeric, ele nu mai pot fi modificate. În aceste condiții programatorul alege setul de informații corespunzător condițiilor de prelucrare cele mai dificile ce pot interveni pe parcursul prelucrării piesei respective. Ca urmare apare obligația ca la alegerea regimului de așchiere să se ia în consi-

Scanned with OKEN Scanner

derație anumiți coeficienți de siguranță, ceea ce generează o serie de dezavantaje ale comenzii numerice.

Comanda adaptivă înlătură total sau parțial aceste dezavantaje, deoarece *măsoară continuu efectele* acțiunii sale pe care le compară cu valori de referință și modifică parametrii chiar în timpul desfășurării procesului de lucru.

Din punct de vedere constructiv *comanda adaptivă* constituie un sistem de prelucrare care *are în plus față de comanda numerică convențională o buclă de reacție* (fig. 8.22), prin intermediul căreia se mențin anumite condiții de prelucrare în mod automat, pe baza unor determinări efectuate în timpul procesului de lucru. În acest scop semnalele furnizate de către elementele senzoriale sînt prelucrate de sistemul adaptiv pe baza unei strategii alese, creîndu-se astfel posibilitatea fizică de *autoprogramare a informațiilor geometrice și tehnologice optime.*

În acest caz, parametrii regimului de așchiere, care în cazul comenzii numerice erau de cele mai multe ori adoptați pe bază de

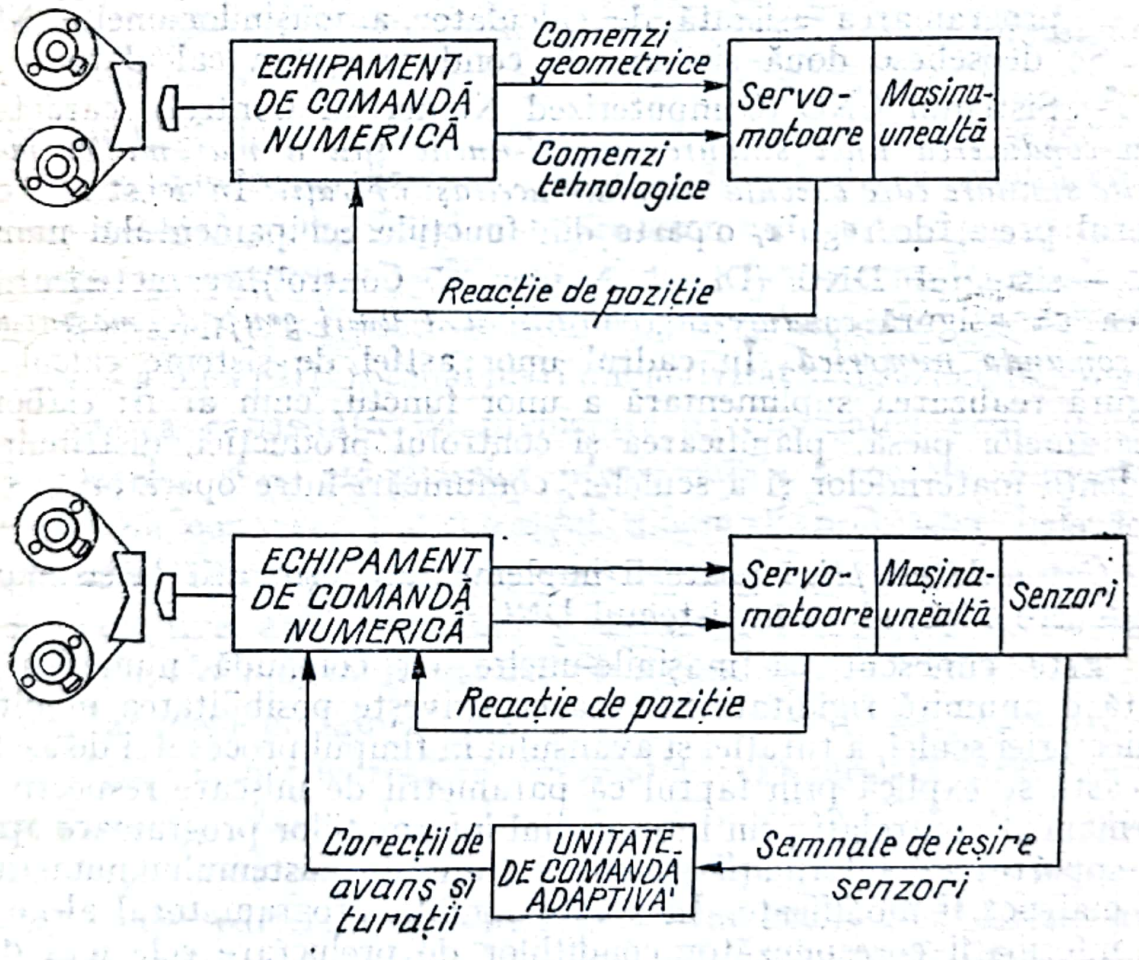


Fig. 8.22. Schema bloc a sistemelor de prelucrare cu:
a) — comandă NC convențională; b) — comandă NC cu comandă adaptivă.

tabele și de formule empirice, se modifică automat în timpul procesului de lucru pe baza strategiei prestabilite.

Comanda adaptivă prezintă totodată și alte avantaje, cum sînt: reducerea volumului de rebuturi, protecția sculelor, simplificarea programării turațiilor și avansurilor etc. În concluzie, comanda adaptivă (AC) urmărește prelucrarea pieselor în timp minim, precisă și la un cost minim.

În funcție de indicele de performanță se face distincție între *sistemele adaptive de reglare la limită (ACC)* și *sistemele adaptive de optimizare ACO*. Reglarea adaptivă ACC fiind mai simplă este mai răspîndită în practica prelucrării pe mașini-unelte. Obținerea unui anumit grad de optimizare în acest caz se realizează prin menținerea constantă a unor variabile care definesc procesul de prelucrare, pe baza strategiei adoptate inițial.

Comanda adaptivă cu reglarea valorilor limită se prezintă sub forme foarte variate:

a) *ACC pentru mașini-unelte fără NC* necesită o strategie AC simplă, cu manevrare ușoară. Valorile limită se pot fixa pentru puterea motorului, cuplu, forța de așchiere, deplasare. Se poziționează deplasarea. Pentru poziționarea valorilor limită se folosesc potențiometre.

b) *ACC pentru mașini-unelte cu NC* prezintă avantajul că combină soluția de hardware, pe de o parte, cu comanda numerică, pe de altă parte. Se poate programa conturul final al pieselor prelucrate. Grosimea așchierii se reglează automat, în funcție de viteza de tăiere și de valoarea limită a puterii.

c) *ACC pentru mașini-unelte cu CNC*. În acest caz se calculează, în funcție de viteza de așchiere, valorile limită ale deplasării sculei sau piesei la fiecare rotație: valoarea experimentală a constantei de tăiere și grosimea șpanului, parametrii ca: turația arborelui, forța de tăiere admisibilă și valorile nominale pentru acționarea deplasării. Pentru a nu se opri mașina pentru măsurări și ajustări, se prevăd role de măsurare care se aplică pe suprafața prelucrată. Valoarea reală se compară cu valoarea nominală poziționată cu un comutator decadic.

Pentru prelucrarea unei piese trebuie furnizate calculatorului multe date referitoare la geometria piesei prelucrate, caracteristicile mașinii-unelte și tehnologia mașinii. Datele referitoare la piesă se iau de la diverse surse, ca; desen constructiv, piesă model sau schiță pe un tub catodic în cazul proiectării cu ajutorul calculatorului.

În general programarea se face cu ajutorul benzii perforate, care poate fi completată manual pornind de la desen, sau cu ajutorul calculatorului prin intermediul unui limbaj de programare. Sînt cunoscute multe limbaje de programare care în general rezolvă problemele geometrice, însă numai puține dintre ele preiau și informații tehnologice.

Scanned with OKEN Scanner

În Europa se folosesc în special limbajele din familia APT, ca: APT, EXAPT, MINIAPT; în S.U.A. se folosesc și limbaje mai evoluate, ca INTERAPT pentru sisteme integrate.

Sistemele adaptive de optimizare ACO depășesc posibilitățile sistemelor ACC prin faptul că procesul de prelucrare este dirijat în mod automat spre o zonă optimă de operare. Datorită capacității sistemului tehnologic limitat totuși pe ansamblul său, nu se poate vorbi nici în acest caz de o optimizare totală.

Sistemul de conducere CNC. Sistemul de conducere CNC asigură preluarea totală sau parțială pe calculator a tuturor funcțiunilor ECN cu logică cablată (convenționale). Mai mult, sfera funcțiunilor realizate de sistemul CNC poate fi lărgită considerabil prin: realizarea funcțiilor logice ale blocurilor de adaptare ale mașinilor-unelte, modificarea ușoară a programelor piesă, comanda adaptivă a procesului de prelucrare, compensarea erorilor cinematice ale mașinilor-unelte, comanda instalațiilor de încărcare-descărcare și de transport a pieselor etc.

Sistemele CNC înlocuiesc sistemul NC clasic acolo unde se cere o putere mai mare de calcul, o precizie mai mare în execuție și o flexibilitate mărită în programare, datorită logicii software.

Modul de operare este mai sigur în sistemul CNC prin înlăturarea erorilor introduse de cititoarele de benzi perforate. Programele piesă sînt înmagazinate integral sau parțial direct în memoria minicalculatorului. Totodată, prin programele de diagnosticare, defectele pot fi ușor localizate și înlăturate.

Din figura 8.23 rezultă structura de bază a celor două tipuri de siteme.

Pentru prelucrarea informațiilor codificate pe bandă perforată, logica de comandă cablată folosește modulele funcționale cum ar fi decodificatoare, interpolatoare, memorie tampon etc., iar procesul de prelucrare a datelor din aceste module este coordonat de unitatea centrală de comandă. Comanda acționărilor de avans este realizată prin controlere de poziție și servoamplificatoare. Informațiile geometrice în legătură cu pozițiile reale ale săniilor sînt furnizate logicii cablate, prin circuite de reacție, de către traductoarele de deplasare. Informațiile tehnologice sînt transmise interfeței în timp util.

Structura sistemului CNC se compune din: minicalculator, interfața între minicalculator și mașina-unealtă, cititorul de bandă și panoul de comandă pentru operator. De asemenea, mai pot fi incluse în structură: blocul de legătură cu sistemul DNC, blocul de comandă adaptivă, blocul pentru măsurare automată a erorilor cinematice, diferite microprocesoare etc.

Scanned with OKEN Scanner

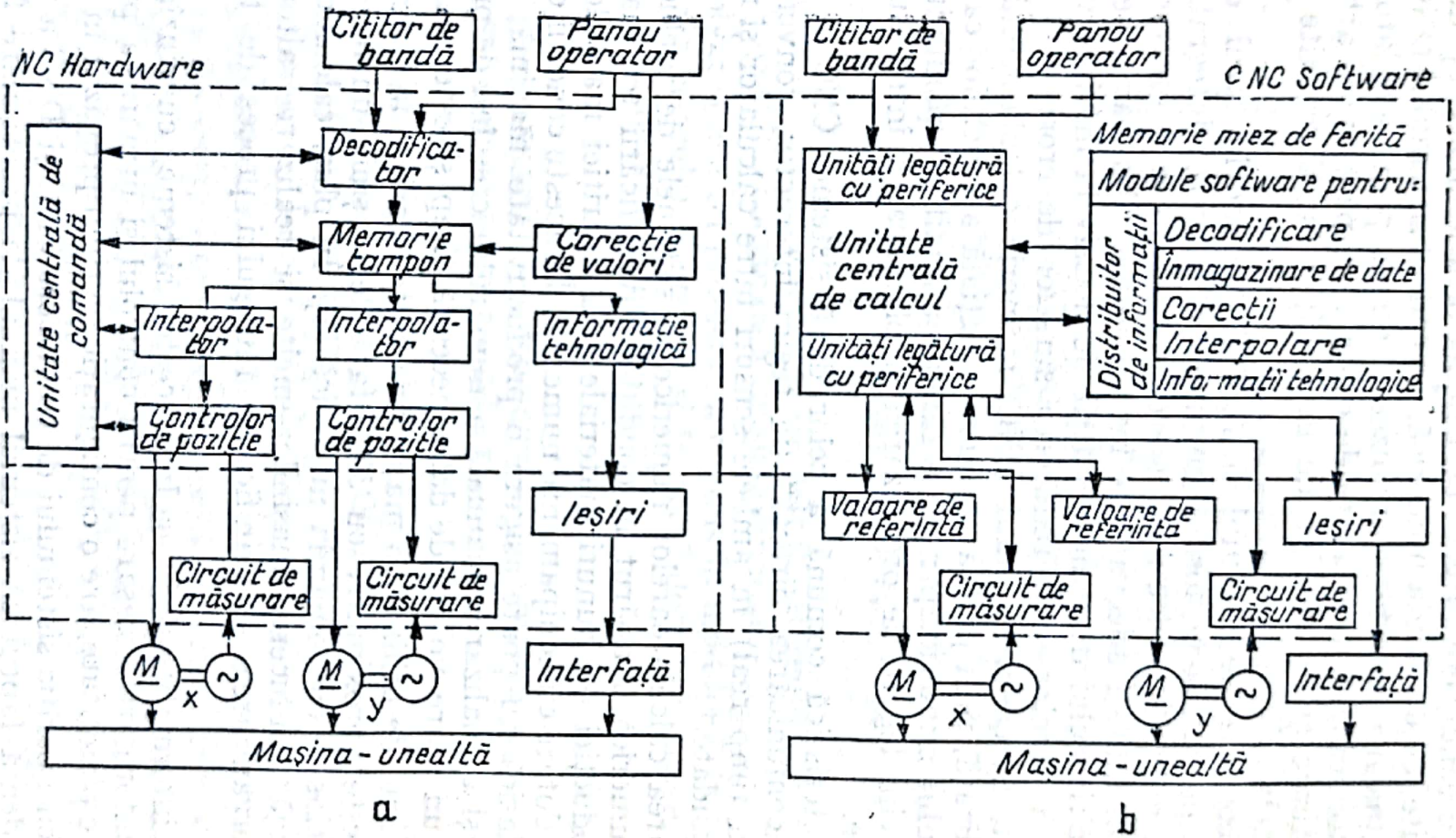


Fig. 8.23. Structura de bază a sistemelor: a) NC clasice; b) CNC.

Scanned with OKEN Scanner

Sistemul de conducere DNC. Sistemul de conducere DNC reprezintă un sistem de conducere directă cu calculatorul a unui grup de mașini-unelte diferite, cu comandă numerică. În cadrul sistemului DNC, comunicarea cu mașina-unealtă se realizează direct prin calculator. Informațiile de comandă sînt preluate de calculator, păstrate și arhivate pe memorii externe și, în funcție de necesități, sînt distribuite automat mașinilor-unelte.

Spre deosebire de sistemul clasic NC, la care în cazul depistării unor greșeli pe banda perforată se impune refacerea integrală a acesteia, la sistemul DNC orice modificare se face direct în memoria calculatorului prin unități adecvate de intrare-ieșire. Eliminarea benzii perforate și a cititorului de bandă contribuie decisiv la mărirea vitezei de introducere a datelor și la reducerea surselor de erori.

Evident, în cazul sistemul DNC, memoria calculatorului trebuie rațional utilizată, prin preluarea numai parțială a funcțiilor cablate ale echipamentului numeric, pentru a rămîne anumite disponibilități pentru alte sarcini legate de organizarea și planificarea întregului proces de fabricație.

O caracteristică comună a celor două sisteme, CNC și DNC, o constituie „comunicarea directă" (în regim interactiv, conversațional, on-line și în timp real) în ambele sensuri între calculator și mașinile-unelte comandate.

Integrarea calculatoarelor numerice în sistemele de prelucrare cu comandă numerică a apărut în condițiile diversificării tot mai accentuate a producției de bunuri materiale și a apariției mașinilor-unelte specializate dotate cu echipamente numerice. În aceste condiții comanda numerică clasică nu poate asigura o productivitate maximă, iar dispecerizarea și actualizarea manuală a numărului crescînd de programe. ce cuprind un mare volum de date, necesită timp și este costisitoare.

Coeficientul de utilizare a mașinilor-unelte cuprinse în sisteme DNC evoluate crește aproximativ cu 30% față de mașinile-unelte echipate cu sisteme clasice cu comanda numerică [3]. În plus, calculatorul asigură, pe lîngă conducerea mașinilor-unelte, și realizarea altor sarcini legate de organizarea și planificarea întregului proces de fabricație (v.cap. 9).

Fluxul informațional în cadrul acestor sisteme, cuprinzînd toate verigile de informare necesare pentru controlul și urmărirea proceselor de prelucrare planificate, are o configurație de tipul prevăzut în fig. 8.24.

Odată cu apariția sistemului de conducere CNC și DNC a ieșit mai mult în evidență faptul că sistemul manual de programare folosit în cadrul prelucrării convenționate NC este greoi și ineficient, mai ales în cazul programării unor piese cu suprafețe complexe, care necesită

Scanned with OKEN Scanner

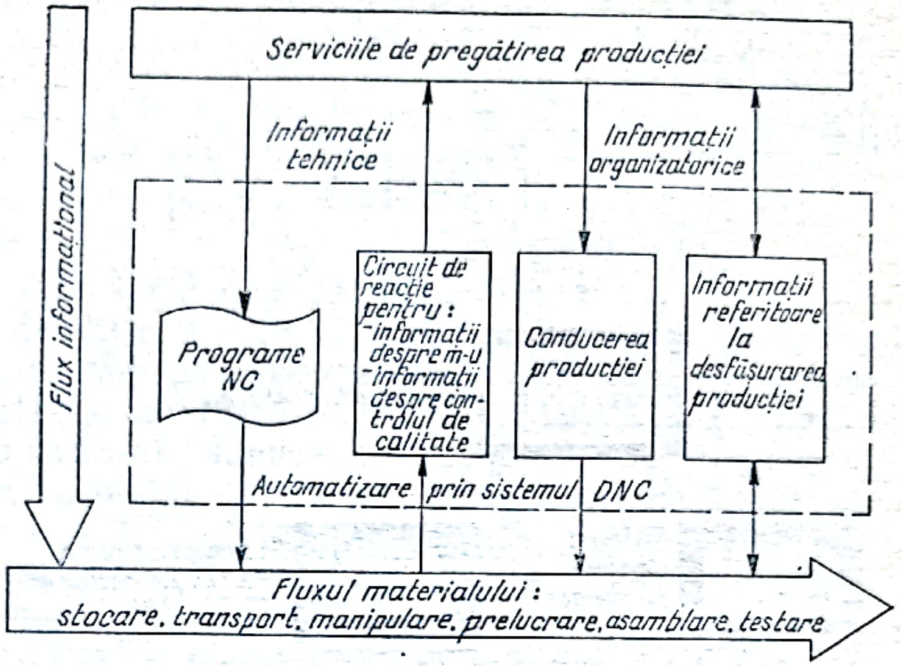


Fig. 8.24. Fluxul general al informației în cadrul sistemelor DNC.

un volum mare de informații și de calcule aferente pentru obținerea mediului suport de comandă a mașinilor-unelte.

Rezolvarea acestei probleme a condus în mod logic la folosirea serviciilor calculatorului electronic și în acest domeniu (fig. 8.25). Detalii sînt redate în literatura de specialitate.

8.3.3. CONSIDERAȚII TEHNICO-ECONOMICE PRIVIND UTILIZAREA SISTEMULUI DE COMANDĂ CNC

Creșterea flexibilității deosebite a sistemelor de comandă numerică CNC provine din posibilitatea utilizării programului de calcul care preia nu numai funcțiunile de bază ale echipamentului NC, dar și numeroase alte funcțiuni. Interschimbabilitatea echipamentelor de comandă CNC, prin cuplarea lor la mai multe tipuri de mașini-unelte, reprezintă un avantaj deosebit, atît pentru producător, cît și pentru utilizator.

Principalele *avantaje tehnice* prin care sistemul CNC este superior sistemului NC, prezentate sintetic, includ următoarele aspecte:

— posibilitatea eliminării erorilor de citire determinate fie de editarea benzii sau starea acesteia, fie de funcționarea incorectă a cititorului de bandă, prin verificarea automată a corectitudinii fiecărei instrucțiuni care se introduce în memorie;

Scanned with OKEN Scanner

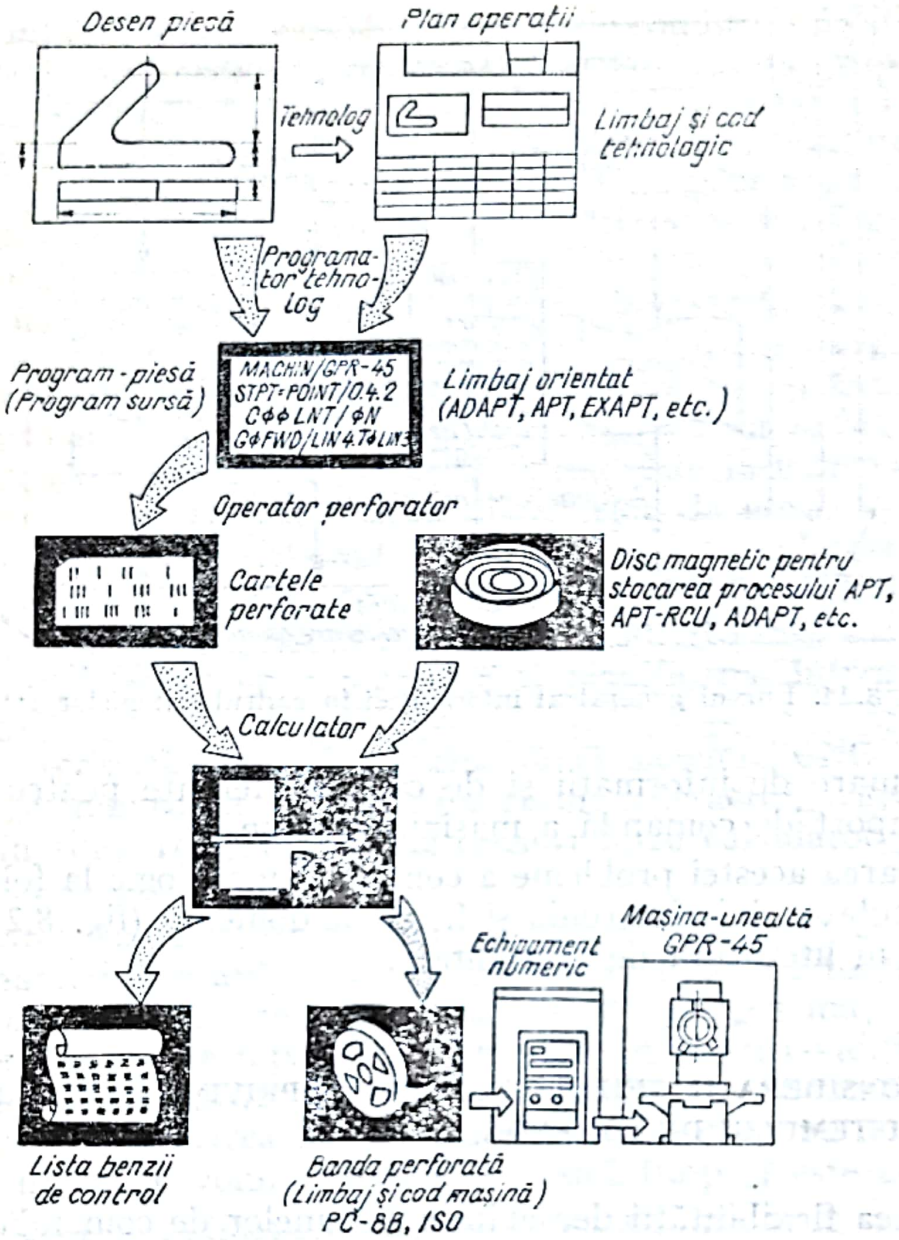


Fig. 8.25. Etapele elaborării mediului suport la programarea asistată.

— corectarea deplasărilor programate greșit prin limitarea programată în cadrul CNC a cîmpului de deplasare a sculei în funcție de starea tehnologică a semifabricatului (prezența unor adaosuri tehnologice, nervuri proeminente etc.), prin introducere manuală sau pe bandă perforată a datelor;

— evitarea deteriorării piesei prelucrate în cazul erorilor de citire prin introducerea în echipamentele CNC a unor memorii intermediare multibloc. În acest mod o parte din capacitatea calculatorului poate fi folosită pentru așa-numita memorie intermediară multibloc, în care,

în funcție de programul folosit, pot fi prememorate 1000—2000 semne din programul existent pe bandă perforată. La apariția unei eventuale erori de citire se poate dispune astfel de o rezervă de 3×256 semne, ceea ce corespunde la o lungime de bandă perforată de cca 2 m. În acest mod fie că se lasă operatorului timpul necesar pentru a interveni și a opri mașina într-o poziție convenabilă, fie se comandă automat retragerea sculei;

— corectarea valorilor prea mari ale vitezei de avans, ca urmare a unor erori de citire, a unor corecții eronate sau a unor intervenții necorespunzătoare ale operatorului. În cadrul sistemului CNC se programează limitarea automată a vitezei de parcurgere a traiectoriei sculei atît pentru avansul tehnologic, cît și pentru deplasarea rapidă. Această corecție este deosebit de importantă în cazul mașinilor-unelte moderne la care vitezele de deplasare a organelor mobile variază într-un domeniu foarte larg (0,1—10 000 mm/min);

— posibilitatea schimbării axelor de coordonate. Spre deosebire de sistemul CN, sistemul CNC permite transformarea coordonatelor, în sensul că, prin intermediul unui simplu comutator, axele y și z se schimbă între ele, astfel încît sistemul de referință din program să coincidă cu sistemul de referință al mașinii. În acest mod utilizarea programelor devine independentă de tipul mașinii pe care se face prelucrarea piesei. Acest fapt nu este posibil în cazul programelor CN, la care, pentru prelucrarea unei piese prin frezare, același program nu poate fi folosit pe două mașini de frezat diferite (de exemplu, cu cap vertical sau cu ax orizontal) deoarece orientarea axelor de coordonate este diferită;

— introducerea datelor pentru corecția sculei chiar prin banda perforată, spre deosebire de mașinile cu NC la care corecțiile se introduc manual și cu un consum mare de timp;

— posibilitatea compensării abaterilor pe baza curbei de erori pentru fiecare axă în parte, ridicată imediat după execuția fiecărei mașini-unelte. În sistemul CNC erorile măsurate din 10 în 10 mm, pe întreaga lungime de deplasare a fiecărei axe în parte, se introduc în calculator împreună cu corecțiile necesare, care sînt apelate în mod automat, în timpul procesului de prelucrare. În acest mod, se obțin precizii foarte ridicate chiar în condițiile echipării mașinii-unelte cu elemente mecanice de transmitere a mișcării mai puțin precise;

— reducerea considerabilă a posibilităților de confuzie din conținutul mesajelor transmise către operator, privitoare la efectuarea unor corecții normale, măsurători sau alte intervenții. Dacă în mod normal aceste mesaje ajungeau la operator sub formă de liste de instrucțiuni,

Scanned with OKEN Scanner

fișe sau formulare, în cazul CNC aceste mesaje sînt descifrate de echipamentele CNC și afișate în clar pe ecrane luminoase (display-uri).

Introducerea sistemul CNC trebuie făcută pe baza unor evaluări tehnico-economice corecte a problemelor de producție, luîndu-se în considerare criterii specifice de natură tehnică, organizatorică, siguranță în exploatare sau de costuri.

Pe plan organizatoric trebuie avut în vedere că utilizarea CNC implică o serie de schimbări. Pentru lansarea producției, verificarea programelor, controlul pieselor prelucrate, precum și pentru pregătirea personalului sînt necesare întocmirea unor fișe și formulare specifice, cu totul noi.

În ceea ce privește evaluarea eficienței economice, trebuie luat în considerare faptul că pînă și sistemele CNC cele mai simple din punct de vedere tehnic sînt mai scumpe decît sistemele NC convenționale.

Sistemele NC mai evoluate, cu memorii și cu posibilități de modificare a programului, sînt comparabile din punct de vedere al costului cu sistemele CNC.

În stadiul actual al tehnicii echipamentelor de comandă NC și CNC este dificil de exprimat o preferință netă în orice situație pentru unul din aceste sisteme; alegerea trebuie făcută de către utilizator în funcție de problemele și posibilitățile concrete pe care acesta le are. La adoptarea unei decizii în acest sens, plecînd de la ideea acreditată că după achiziționarea echipamentului biblioteca de programe se îmbogățește corespunzător cu progresul tehnic și cu necesitățile apărute, trebuie să se ia în considerare și costurile noilor realizări în domeniul software-ului, care sînt oferite de asemenea de către producător, costuri a căror mărime uneori poate înclina balanța în favoarea adoptării unuia sau altuia din sisteme.

În figura 8.26 este redată o diagramă comparativă între domeniile de utilizare eficientă a diferitelor tipuri de mașini-unelte și sisteme de mașini, în funcție de costul prelucrării și producția anuală, iar în figura 8.27 în funcție de producția anuală și gradul de complexitate al prelucrării. Din cele două diagrame rezultă următoarele domenii de utilizare:

a) mașinile-unelte automate sînt utilizate în producția de serie, piesele prelucrîndu-se pe loturi, excepție făcînd strungurile automate mecanice utilizate exclusiv în producția de masă;

b) liniile tehnologice în flux mecanizate sînt utilizate în producția de serie mijlocie, piesele prelucrîndu-se pe loturi de $100 < n < 100$ buc/lot;

c) mașinile-unelte agregat pentru prelucrări de complexitate mare sînt utilizate în producția de serie mare;

Scanned with OKEN Scanner

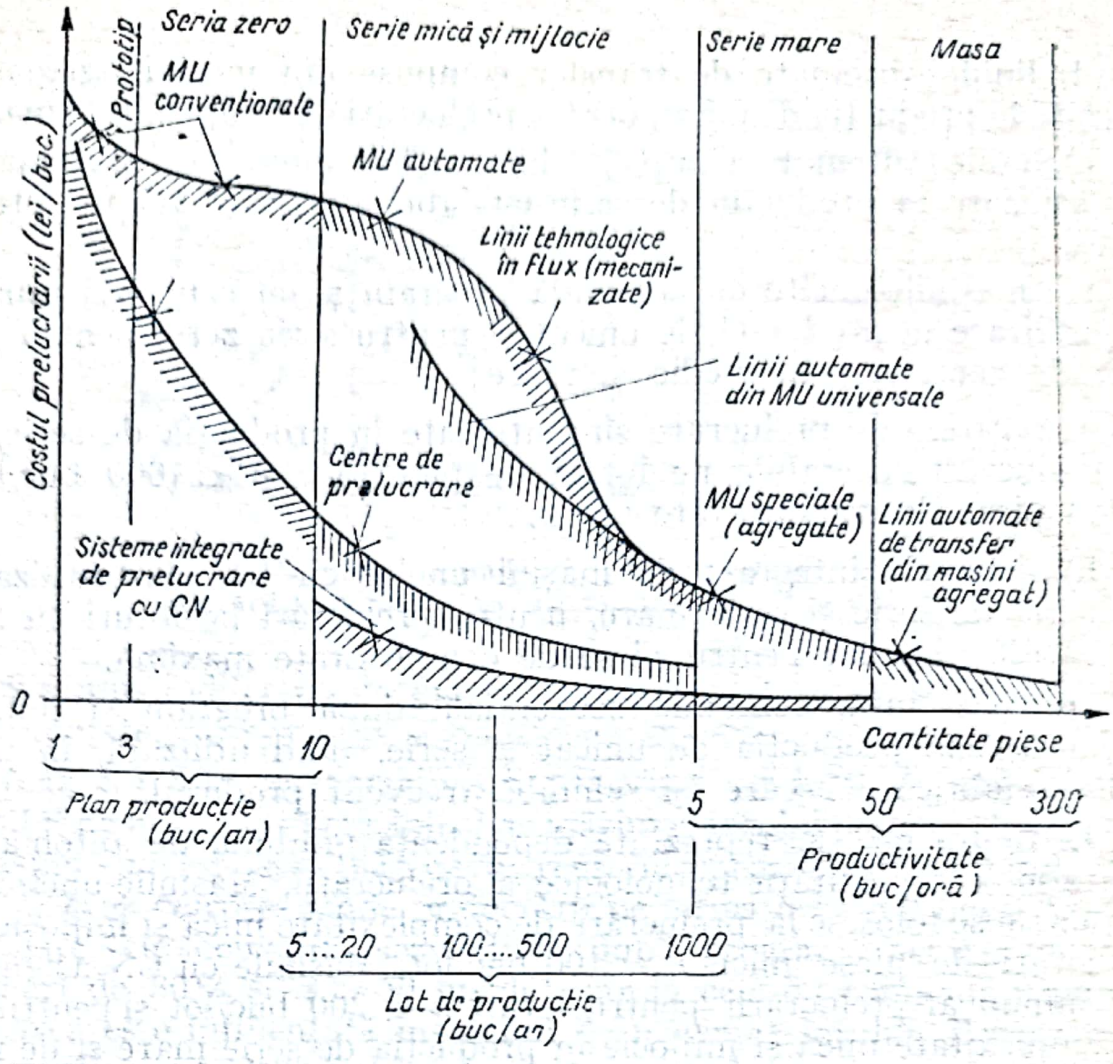


Fig. 8.26. Domenii de utilizare ale mașinilor-unelte și sistemelor de mașini (în funcție de costul prelucrării și cantitatea de produse).

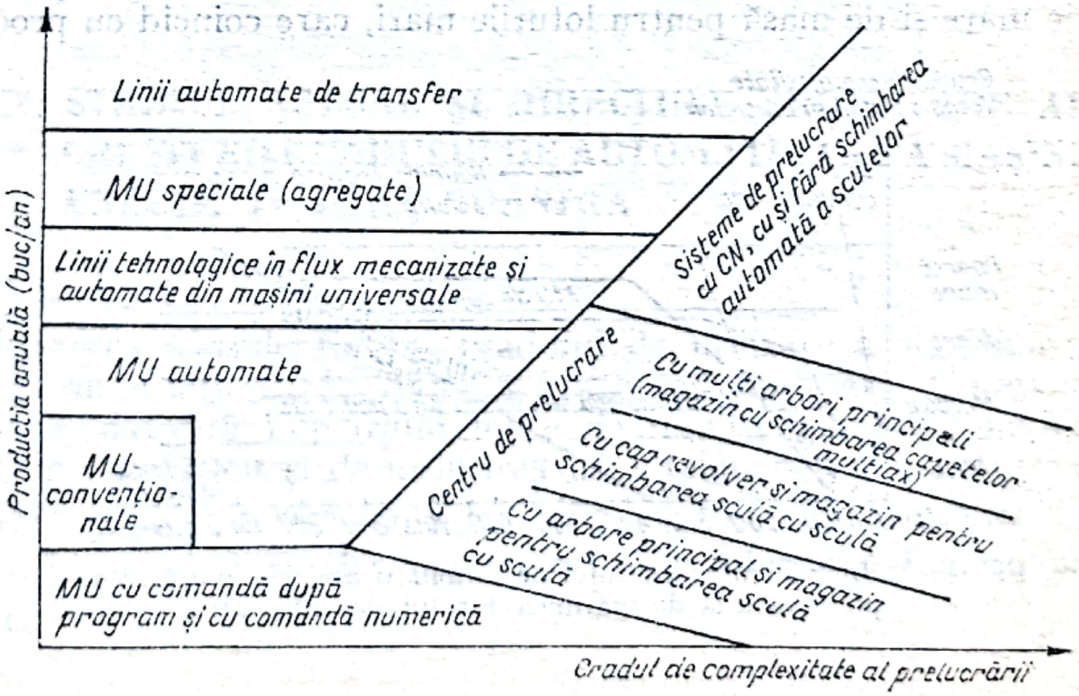


Fig. 8.27. Domenii de utilizare în funcție de producția anuală și complexitatea prelucrării.

Scanned with OKEN Scanner

d) liniile automate de transfer compuse din mașini agregat sînt utilizate în producția de masă, pentru prelucrări de complexitate maximă;

e) liniile automate compuse din mașini universale automatizate sînt utilizate în producția de serie cu fabricația realizată pe loturi de piese.

f) mașinile-unelte cu comandă program și cu comandă numerică sînt utilizate în producția de unicat și pentru seria zero, pentru prelucrări de complexitate medie și mare;

g) centrele de prelucrare sînt utilizate în producția de serie, pentru prelucrări repetabile pe loturi de piese $5 < n < 1000$ buc/lot, și pentru piese de complexitate mare;

h) sistemele integrate de mașini unelte cu CN sînt utilizate în producția de serie și serie mare, pentru prelucrări pe loturi cu $5 < n$ și $n > 1000$ buc/lot pentru piese de complexitate maximă.

În consecință, comanda secvențială după program și numerică automatizează producția de unicat și serie, fiind utilizată, în primul rînd, în fabricațiile care își schimbă frecvent produsul.

În figura 8.28 se reprezintă dependența gradului de automatizare de gradul complexității tehnologice a prelucrării. Mașinile-unelte convenționale se folosesc la prelucrări de complexitate mică și mijlocie pentru loturi de piese mici $n < 100$ buc/lot. Mașinile cu CN asigură un cost minim al prelucrării pentru loturi $n < 200$ buc/lot și pentru piese de complexitate mică și mijlocie în producția de serie mare și de masă.

Mașinile cu comandă secvențială după program se utilizează în cazul loturilor $n > 200$ buc/lot și complexități mijlocie și mare, iar mașinile-unelte de copiat pentru complexități foarte mari. În producția de serie mare și de masă pentru loturile mari, care coincid cu producția

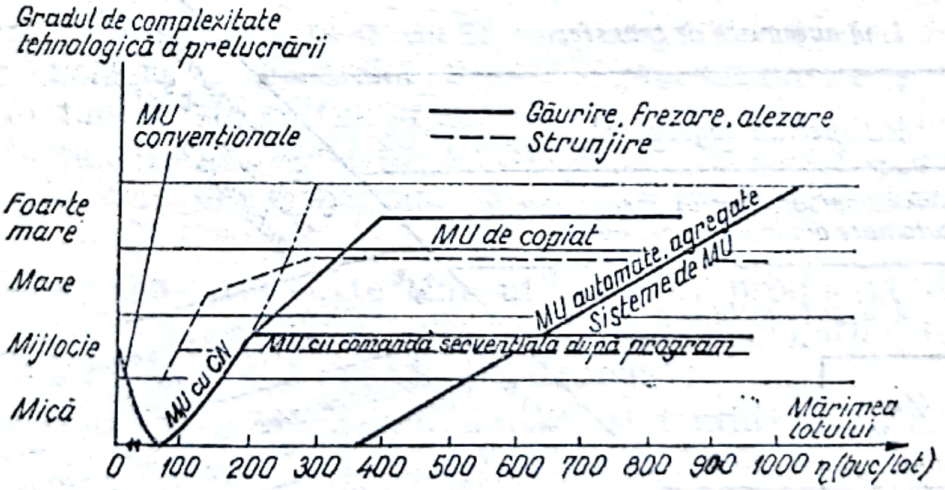


Fig. 8.28. Dependența gradului de automatizare de complexitatea prelucrării și de mărimea lotului de fabricație.

Scanned with OKEN Scanner

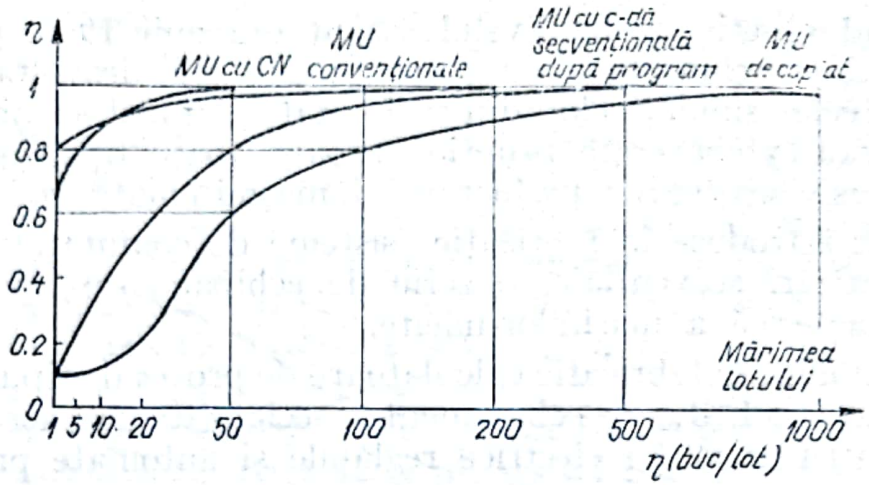


Fig. 8.29. Dependența gradului de automatizare de gradul utilizării mașinii și mărimea lotului de fabricație.

pe cîțiva ani, indiferent de gradul de complexitate se utilizează mașinile automate, agregate și sistemele de mașini.

În figura 8.29 se reprezintă dependența gradului de automatizare de gradul de utilizare al mașinii și de mărimea lotului de piese. Se observă că mașinile-unelte de copiat devin rentabile pentru încărcări mai mari de 80%, ceea ce corespunde prelucrării pe loturi $n > 200$ buc/lot, mașinile-unelte cu comandă secvențială după program, pentru încărcări mai mari de 80% și $n > 50$ buc/lot, iar la cele cu comandă numerică încărcarea este influențată insensibil de mărimea lotului. Pentru mărimea loturilor $n > 100$ buc/lot toate tipurile de mașini-unelte prezintă un grad ridicat de utilizare.

8.4. STADIUL ACTUAL ȘI DIRECȚIILE PRIORITARE ALE CREȘTERII GRADULUI DE AUTOMATIZARE A MAȘINILOR-UNELTE ÎN ȚARA NOASTRA

Creșterea considerabilă a gradului de utilizare a mașinilor-unelte în industrie în ultimii 15—20 ani a fost determinată atît de dezvoltarea extensivă, datorită numărului mare de unități puse în funcțiune în această perioadă, cît și de utilizarea unor tehnologii moderne și utilaje complexe, care prin concepția lor au permis și impus utilizarea automatizării și uneori conducerea cu calculatorul sau automate programabile.

Scanned with OKEN Scanner

Pornind practic de la nivelul scăzut din anii 1960, concepția și realizarea de mașini-unelte cu forțe proprii s-a dezvoltat continuu, atingînd nivelul similar celor din străinătate. Au fost asimilate pe bază de licențe sau în concepție proprie aproape toate tipurile de mașini-unelte, inclusiv centre de prelucrare și mașini-unelte grele.

Au fost introduse în fabricație sisteme de comutație statică pentru automatizări secvențiale, o serie de echipamente tipizate pentru comanda numerică a mașinilor-unelte.

S-au asimilat în fabricație calculatoare de proces de tipul ECAROM-800 pe tehnologia LSI, alte echipamente specializate cu microprocesoare, inclusiv pentru acționări electrice reglabile și automate programabile.

Se află în curs de asimilare „Sistemul distribuit de conducerea proceselor tehnologice", cu concepție modernă, pe tehnologia LSI, cu baze de date distribuite în proces, conținînd console operator cu display color.

În țara noastră s-a realizat o succesiune de generații de sisteme de comandă numerică, dintre care seria NUMEROM 300 cu circuite integrate, cu grad de integrare mic și mediu, inclusiv echipamente de conturare în 2 axe NUMEROM 331 sau 2+2 axe NUMEROM 335. Sînt, de asemenea în fabricație echipamentele NUMEROM 450 de tip CNC, cu minicalculator încorporat, destinate proceselor de prelucrare neconvențională și NUMEROM CNC 530.

Se găsesc într-un stadiu relativ avansat echipamentele de comandă numerică, standard, de tip CNC, NUMEROM 460 și respectiv NUMEROM 480, variantă distribuită cu posibilitatea de satisfacere a celor mai diversificate cerințe ale beneficiarilor. Aceste echipamente sînt dezvoltate pe baza minicalculatorului CORAL 4001 din fabricația Întreprinderii de Calculatoare Electronice din București.

Toate echipamentele de comandă numerică evoluate finalizate, sau în curs de finalizare, se bazează pe un sistem unic de măsură de tip ciclic absolut, folosindu-se traductoarele de tip analogice, în curs de asimilare în țara noastră.

În ceea ce privește echipamentele de afișare numerică a cotei, se află în fabricație o gamă de asemenea echipamente, inclusiv montaj în pupitrul mașinii, bazate de asemenea pe traductoare inductive de măsurare a deplasării, existînd și variantă de echipament pentru traductoare incrementale.

În domeniul automatelor programabile există în fabricație produse de nivel tehnic actual față de realizările similare din țările membre CAER, ca de exemplu automatul AP 101 sau automatul AP 117 și automatul AP-MINI.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru satisfacerea necesităților din energetică privind comutația statică se fabrică sistemul specializat de comandă automată USILOGE.

În domeniul roboticii se menționează echipamentele destinate conducerii roboților industriali, realizate pe baza minicalculatorului CORAL 4001. Se află în fabricație curentă diferite componente pentru roboți, ca: micromotoare de curent continuu cu cuplu mare, servomotoare de curent continuu cu frînă încorporată, motoare hidraulice, tahogeneratoare sau în faza de cercetare aplicativă avansată componente ca: traductoare incrementale, motoare pas cu pas, motoare electrice liniare, traductori de proximitate, senzori tactili și de forță etc.

În domeniul echipamentelor de automatizare pentru mașini-unelte nivelul de dezvoltare se situează la un stadiu practic echivalent cu cel pe plan european, fiind caracterizat de aplicarea extensivă a:

— echipamentelor de comandă numerică, aproape în exclusivitate de producția indigenă, inclusiv echipament de tip CNC;

— echipamentelor de acționare electrică reglabilă atît pentru avansuri cît și pentru acționarea principală;

— automatelor programabile, pentru mașini-unelte de complexitate relativ ridicată și medie;

— afișajul de cotă la toate categoriile de mașini-unelte convenționale, în cazul în care tehnologul apreciază oportunitatea unei asemenea dotări.

La cele de mai sus trebuie adăugați roboții industriali în curs de asimilare etc.

Pe baza analizei deficiențelor semnalate în dotarea cu mașini-unelte prevăzute cu grad de automatizare ridicat sînt luate în considerare următoarele necesități stringente:

— creșterea gradului de automatizare pe întreaga industrie, avîndu-se în vedere aplicarea tot mai largă a echipamentelor de comandă numerică pe mașini-unelte și introducerea în procesul de producție a sistemelor flexibile de mașini conduse cu calculatorul. Ca urmare, concepția în domeniul mașinilor-unelte va ține seama că cea mai mare parte a acestora într-un viitor nu prea îndepărtat nu vor mai fi utilizate individual, ci integrate în sisteme flexibile de producție, cu manevrarea automată a pieselor între mașini, sisteme ce urmează a fi conduse de un calculator de proces central;

— dezvoltarea și diversificarea producției proprii de mijloace de automatizare atît ca volum, cît și ca sortiment, dîndu-se prioritate în primele perioade traductoarelor, elementelor de montaj, subansamblelor hidraulice și mecanice;

— reducerea importului de elemente de completare;

— creșterea dotării și producției de calculatoare și minicalculatoare;

Scanned with OKEN Scanner

— unificarea dotării industriei cu elemente de automatizare AMC și SDV;

— realizarea de elemente de interfață electro-electronice, electro-hidraulice, electro-pneumatice etc. cu performanțe ridicate;

— creșterea fiabilității și mentenabilității;

— eliminarea strangulărilor în ceea ce privește concepția (cercetare și proiectare), montajul și întreținerea. Se va înlocui în mare parte proiectarea tradițională de mașini-unelte cu proiectarea asistată de calculator;

— dezvoltarea cunoașterii proceselor și a stadiilor sistemelor automate și formarea cadrelor corespunzătoare necesare.

O retrospectivă asupra etapelor de dezvoltare a mașinilor-unelte din țara noastră conduce la concluzia că performanțele de flexibilitate în concordanță cu cerințele de automatizare a fabricației seriilor mici și mijlocii sînt realizate în prezent într-un ritm accelerat, prin acțiunea de implementare pe scară largă a electronicii și microelectronicii în structura acestor mașini și a dezvoltării sistemelor flexibile de fabricație (v. cap. 9).

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 9

UTILIZAREA SISTEMELOR FLEXIBILE DE FABRICAȚIE

9.1. CONCEPȚIA SISTEMICĂ DE ORGANIZARE A SISTEMELOR FLEXIBILE DE FABRICAȚIE

Evoluția și perfecționarea sistemelor de automatizare rigidă a condus la atingerea celor mai înalte cote ale productivității în domeniul fabricației de masă sau de serie mare (v. § 7). În schimb, acestea nu au rezolvat problema productivității muncii în fabricația seriilor mici și mijlocii și cu atît mai mult a unicatelor, deoarece la proiectarea sistemelor rigide adecvate funcționării într-un ciclu mai mult sau mai puțin automatizat nu s-a avut în vedere apartenența lor la un sistem de fabricație. O astfel de dezvoltare a coincis cu aplicarea metodei tradiționale de organizare a fabricației bazată pe „specializarea proces" (pe operații tehnologice), în opoziție cu „specilizarea produs", care reclamă necesitatea unei noi dotări tehnologice cu grad ridicat de flexibilitate, impus de necesitatea schimbării caracterului de serie a fabricației de piese (v. § 6.3 și § 6.5).

Efectele introducerii sistemelor de fabricație flexibile, într-o întreprindere, (comparativ cu fabricația pe profilul actual al „specializării proces"), pot fi sintetizate în următoarele: creșterea productivității; reducerea personalului productiv; reducerea timpilor auxiliari; redu-

Scanned with OKEN Scanner

cerea suprafeței de producție; trecerea unei părți a activității de producție în domeniul de pregătire a fabricației; îmbunătățirea de ansamblu a desfășurării fabricației; regim de finanțare în trei schimburi cu același grad de productivitate; reducerea costului producției și intensificarea utilizării fondurilor financiare ale întreprinderii; creșterea cheltuielilor necesare întreținerii mijloacelor de producție.

„Omniprezența" sistemelor se confirmă deci și în domeniul fabricației de produse și bunuri materiale.

În cele ce urmează vom înțelege prin „sistem" o grupare de elemente componente care interacționează, delimitat în spațiu, în vederea atingerii unui obiectiv comun. Stabilirea limitelor sistemelor depinde de scopul și de natura sarcinilor de rezolvat.

Prin *flexibilitate*, în sensul conceptului de organizare sistemică a producției, se înțelege capacitatea de adaptare a sistemului la sarcini de producție diferite, *atît din punct de vedere al formei și dimensiunilor produsului, cît și din punct de vedere al procesului tehnologic care trebuie efectuat.*

Pentru o clarificare a complexității „sistemelor", din fig. 9.1 rezultă nivelele pe care acestea le pot ocupa pe scară ierarhizată, într-o întreprindere industrială. Cea mai mică unitate care poate reprezenta funcții de fabricație autonome o reprezintă sistemele de ordinul 1, cum ar fi, de exemplu, un *centru de prelucrare automat* (v. § 8.2).

Sistemele de ordinul 2 reprezintă concentrarea mai multor mașini de lucru pentru prelucrarea completă a unei sarcini de fabricație, a unei singure piese sau a mai multor piese. Asemenea sisteme autonome, ce pot prelucra automat piese diferite, pe o perioadă mai îndelungată, sînt cunoscute în construcția de mașini sub denumirea de *„celule de automatizare flexibile"* sau *„celule flexibile de fabricație"*, din punct de vedere al funcțiilor pe care le pot realiza și prin gradul de autonomie particulare ale unei celule de automatizare flexibilă.

Sistemele de ordinul 3, după cum rezultă din fig. 9.1, implică folosirea în plus a unei serii de alte elemente în raport cu cele de ordinul 2. Un asemenea sistem, care include — pe lîngă posibilitatea efectuării unor operații diferite, ca: prelucrări mecanice, asamblare, tratamente superficiale de suprafață, control de calitate etc. — și alte activități, cum sînt pregătirea și comanda fabricației, poartă denumirea de *sistem flexibil de fabricație.*

Rezultă deci că „sistemele flexibile de fabricație" precum și *„întreprinderea total automată"* sau „fără oameni" (sistem de fabricație de ordinul 4) care reprezintă obiectivul final al utilizării sistemelor flexibile de fabricație sînt alcătuite din mai multe celule flexibile de fabricație, interconectate printr-un sistem automat de transport intern și un

Scanned with OKEN Scanner

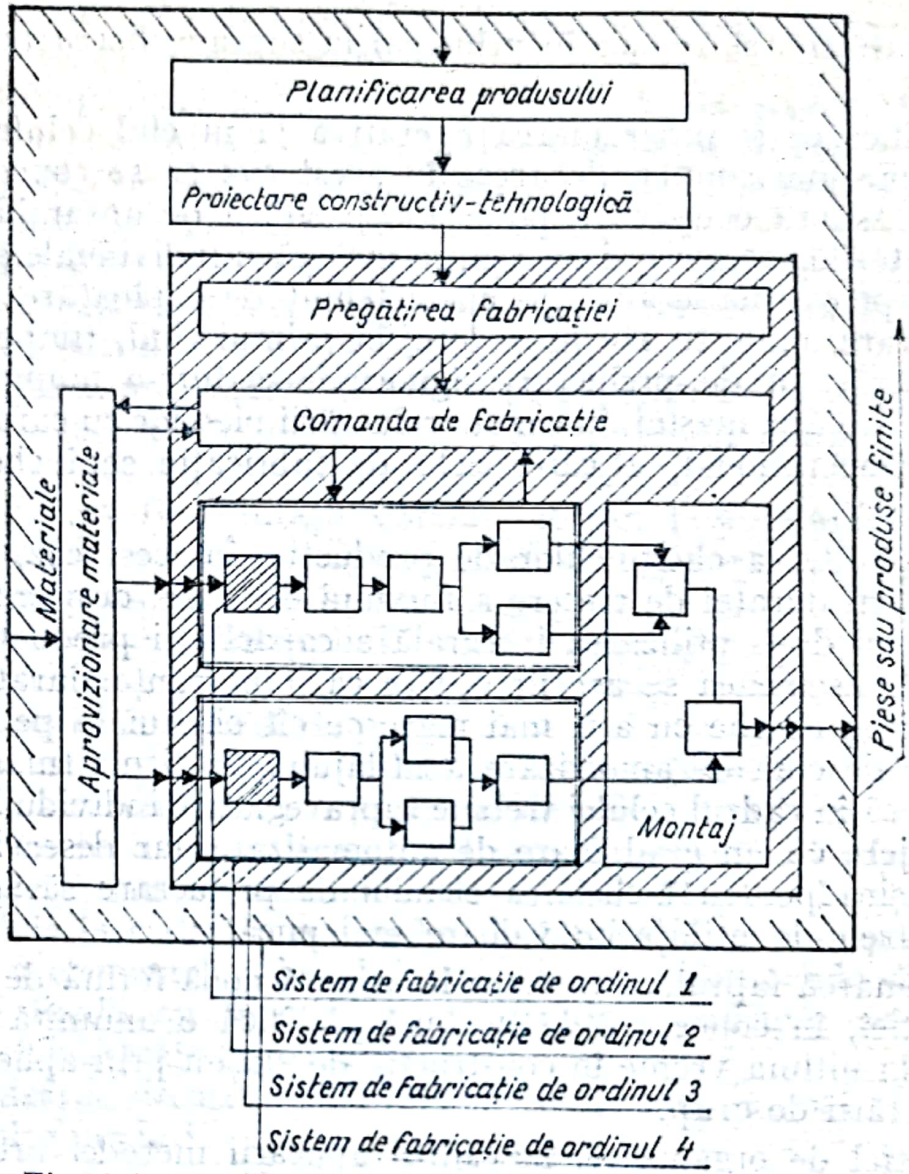


Fig. 9.1. Complexitatea sistemelor flexibile de fabricație.

sistem de comandă centralizat. Prin urmare, în construcția de mașini, componenta de bază a oricărui sistem flexibil de fabricație o constituie *celula flexibilă de fabricație*.

Din figura 9.1 rezultă că în sfera de cuprindere a unei întreprinderi total automate sînt incluse atît sarcina de planificare a producției și proiectarea constructiv-tehnologică, cît și asigurarea fluxurilor de intrare-ieșire (asigurarea de materiale, energie și informație precum și desfacerea producției realizate).

Prin caracterul descentralizat al producției la nivelul fiecărei celule flexibile de fabricație, personalul operativ capătă o anumită libertate și putere de decizie în stabilirea diviziunii muncii și succesiunea operațiilor. Rolul operatorilor, în cazul celulelor flexibile cu un înalt grad

Scanned with OKEN Scanner

de automatizare, se reduce în principal la supravegherea procesului de fabricație.

Planificarea și programarea operativă la nivelul celulei de fabricație devine mai simplă, deoarece în acest caz ea se concentrează cu prioritate asupra ocupării depline a capacității de ansamblu a celulei și a operatorilor acesteia și nu asupra încărcării individuale a mașinilor. Este în fapt o situație analogă cu sistemul de exploatare a centrelor de prelucrare, unde se are în vedere, în primul rînd, timpul de încărcare al centrului de prelucrare, ignorîndu-se într-o anumită măsură încărcarea fiecărei mașini, în cazul prelucrării pieselor cu caracter tehnologic multioperațional, al căror ciclu de fabricație se încheie pe mai multe mașini.

Rentabilitatea cheltuielilor de producție, în acest caz, ca efect al minimalizării duratei de trecere a fluxului de piese, devine mai importantă uneori decît utilizarea integrală a capacității productive a unor mașini. De asemenea se are în vedere că importanța duratei timpilor de staționare devine cu atît mai mare cu cît cheltuiala pe oră-mașină în funcție de cota de amortizare a utilajului va fi mai mare. Aceasta înseamnă că în cadrul celulei trebuie supravegheate individual în primul rînd utilajele cu un grad mare de automatizare, iar deservirea la mai multe mașini pentru încheierea ciclului de prelucrare să se orienteze spre folosirea de utilaje cu valoare mai mică.

Se remarcă faptul că trecerea la această nouă formă de organizare a fabricației, în concepție de sistem, valorifică o anumită experiență căpătată în ultima vreme în construcția de mașini prin aplicarea metodei prelucrării de grup.

O astfel de organizare, în cadrul aplicării metodei prelucrării de grup, urmărea minimalizarea duratelor de reglare a mașinilor, precum și reducerea costurilor de echipare. Sistemul de fabricație pe celule flexibile urmărește în principal maximalizarea flexibilității procesului de fabricație prin reducerea întreruperilor, minimalizarea transporturilor uzinale, îmbunătățirea comunicării precum și creșterea responsabilității personalului muncitor. Ca și în cazul prelucrării de grup, mașinile sînt grupate pe baza unei cerințe de uzinare comună ce caracterizează un anumit grup de piese.

Reevaluarea metodei prelucrării de grup în acest context deschide mari posibilități de raționalizare a producției de serie mică și mijlocie, reprezentînd alături de dezvoltarea comenzii numerice, robotizării și aplicarea tehnicii bazate pe inteligență artificială, una din direcțiile de bază ale organizării fabricației flexibile.

Scanned with OKEN Scanner

Sintetizînd logica procesului de proiectare a unui astfel de sistem, se pot defini următoarele etape:

— descompunerea programului de fabricație în grupe de piese sau ansamble cu caracteristici constructiv-tehnologice similare, după metoda tehnologiei de grup și proiectarea tehnologiei de fabricație în mod unitar pe baza acestor similitudini;

— constituirea sistemului de fabricație din blocuri tipizate, făcînd parte din sisteme modulare cu diferite funcții de prelucrare, asamblare, manipulare control etc.

— gruparea mijloacelor de producție necesare în cadrul unor celule flexibile sau linii de fabricație înlănțuite prin automatizarea și robotizarea operațiilor de manipulare;

— realizarea flexibilității sistemului prin posibilitatea de recombinare a modulelor, precum și prin aceea de reglare rapidă a diferitelor mașini și echipamente;

— cibernetizarea întregului proces tehnologic de fabricație, prin aplicarea comenzii program, apelînd în special la comanda numerică cu ajutorul calculatoarelor de proces.

Într-o astfel de viziune, industria construcțiilor de mașini a viitorului va fi alcătuită dintr-o mulțime de celule flexibile de fabricație dotate cu un înalt grad de automatizare, în măsură să producă independent piese sau subansamble de mașini diferite. Interconectarea acestor celule în cadrul programelor de fabricație cu transportul materialelor și a elementelor de fabricație, precum și cu celule distincte de asamblare finală cu funcționare relativ independentă, se realizează conform celor arătate mai înainte.

Organizarea fiecărei celule flexibile de producție poate fi orientată în mai multe moduri:

— organizarea orientată în jurul mașinilor-unelte cu conducere-numerică prin calculator (CNC sau DNC servite de roboți de manipulare și de control, cuprinzînd după caz conveiere sau benzi transportoare;

— organizare orientată în jurul mașinilor și roboților de asamblare;

— organizare orientată în jurul mașinilor și roboților pentru anumite operații specifice;

Pentru o clasă destul de largă de piese o astfel de celulă este echivalentă cu o mașină automatizată complex, avînd caracter universal. Trecerea fabricației de la un produs la altul se face pe bază de programe, care definesc capacitatea funcțională a sistemului.

Structurarea industriei constructoare de mașini pe celule de fabricație flexibile în corelare cu procesul de tipizare-unificare, dezvoltat pe planul concepției constructive a produselor, creează premisele optime

Scanned with OKEN Scanner

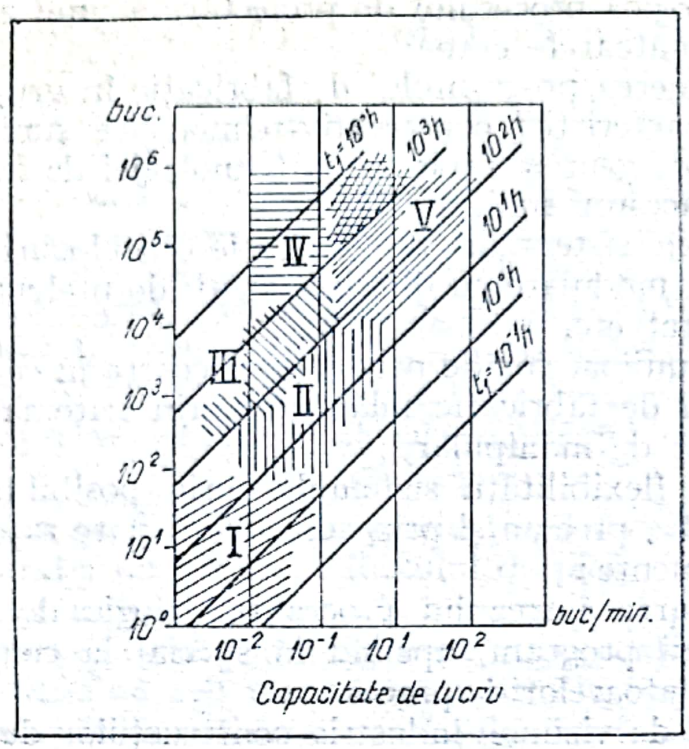


Fig. 9.2. Domenii de utilizare a diverselor sisteme de fabricație:

I — centre de prelucrare; *II* — sisteme flexibile de fabricație; *III* — mașini-unelte speciale (agregate); *IV* — linii de transfer; *V* — mașini agregat cu transfer de piese; t_1 — timpul de execuție a unei serii de piese.

de armonizare a cerințelor contradictorii dintre diversificare și unificare, care confruntă sever această importantă ramură industrială a lumii contemporane (v. §6.3).

Domeniul de utilizare a sistemelor flexibile de fabricație, comparativ cu alte sisteme tehnice de prelucrare din punct de vedere al mărimii seriilor de fabricație, respectiv loturile de fabricație și timpul de execuție, rezultă din fig. 9.2.

Sistemele flexibile de fabricație se încadrează între domeniul de utilizare al centrelor de prelucrare și domeniul de utilizare al mașinilor-unelte agregat și a liniilor de transfer. Parametrii t_1 din diagramă, reprezentați prin liniile înclinate corespund timpilor de prelucrare a seriilor de piese și se obțin prin împărțirea dimensiunii acestor serii la timpii de execuție.

Cu alte cuvinte, sistemul de fabricație flexibil, ce acoperă un domeniu de diversitate mediu și un volum de producție mediu pentru a înregistra cheltuieli reduse, trebuie să îmbine caracteristicile domeniilor extreme respectiv a sistemelor de transfer (ce corespund domeniului de diversificare mică și volum de producție mare, și centrelor de pre-

Scanned with OKEN Scanner

lucrare (ce corespund la o diversificare mare și un volum de fabricație mic).

O procedură formală de concepție a sistemelor flexibile redată în fig. 9.3 pune în evidență următoarele etape ale schemei logice [23]:

— definirea temei, care constă în precizarea problemei necesar a fi rezolvată (exemplu: un program de fabricație cu clasificarea funcțiilor de intrare și ieșire ale sistemului);

— examinarea temei din punct de vedere al posibilităților de unificare-tipizare;

— definitivarea sistemului și principalelor sale subsisteme de fabricație, stabilirea părților nespecifice (module tipizate) și a părților noi (specifice) ce alcătuiesc structura sistemului;

— evaluarea eficienței economice și a flexibilității sistemului.

Un factor important în evaluarea eficienței economice pentru trecerea la automatizarea flexibilă în industria cu fabricație discretă din construcția de mașini îl constituie efortul pentru investiții. În momentul în care o linie de fabricație flexibilă nu va costa mai mult decît o linie clasică de fabricație, datorită marilor avantaje ale fabricației flexibile (privitoare la productivitate, costuri și timp de livrare), nu se

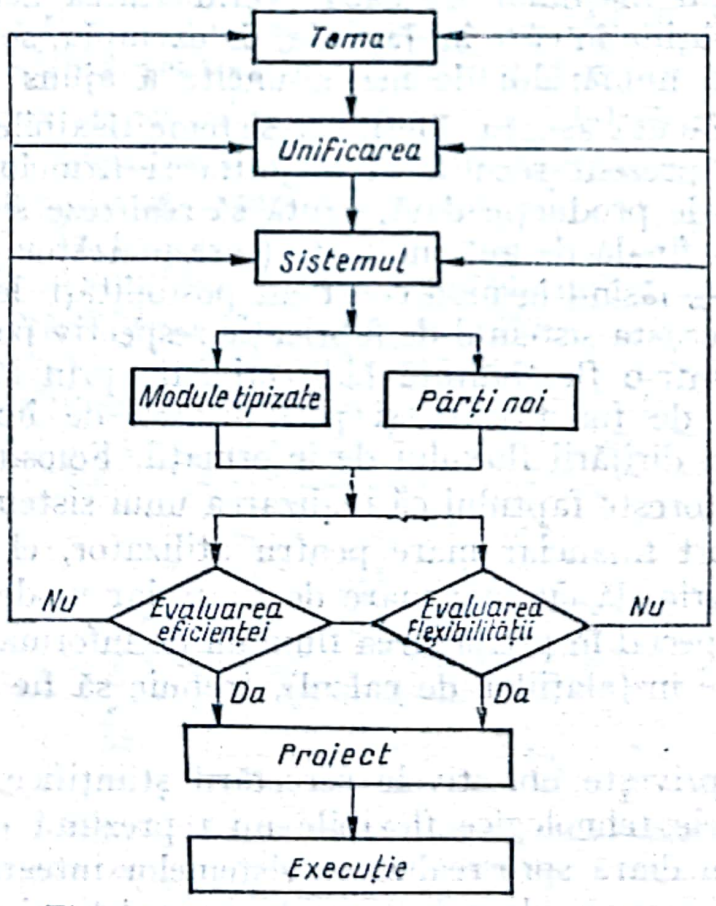


Fig. 9.3. Procedură formală de concepție a sistemelor flexibile.

Scanned with OKEN Scanner

mai justifică investițiile în linii de fabricație clasice, automatizate rigid. Or, acest punct de inversiune a fost atins în momentul de față pe plan mondial într-un număr însemnat de domenii.

Explicația producerii acestei inversiuni este determinată de faptul că în condițiile fabricației actuale a pieselor metalice, de exemplu, care se fabrică pe un număr însemnat de mașini-unelte cu comandă numerică, timpul efectiv pe care o piesă îl petrece în linia de fabricație în cea mai mare parte prin manipulări și depozitări se ridică la cca. 95%, iar cel în care piesa stă pe mașina-unealtă atinge 5%. Dar chiar și din timpul petrecut pe mașina-unealtă, numai cel mult 30% reprezintă timp de prelucrare efectivă, restul fiind necesar încărcării, poziționării, descărcării etc. În situația în care întregul proces de fabricație este automatizat, inclusiv manipularea, timpul de prelucrare efectiv pe mașina-unealtă se poate ridica pînă la 75%.

Întrucît numărul de mașini-unelte la sistemele flexibile, raportat la volumul producției, scade considerabil, investiția pentru manipulatoare, roboți, conveiere, microprocesoare, calculatoare electronice și programe informatice poate fi acoperită numai din economia realizată pe seama reducerii mașinilor de bază. Veridicitatea acestei concluzii se impune în condițiile în care în Japonia, de exemplu, se cunosc cazuri în care reducerea numărului de mașini-unelte a ajuns la 80%.

Din analiza făcută asupra diferitelor sisteme flexibile de fabricație realizate pînă în prezent rezultă că majoritatea firmelor de renume, pentru o sarcină de producție dată, caută să realizeze sisteme care să nu atingă treapta finală de automatizare (corespunzător perioadei cînd au fost concepute), lăsînd în mod conștient posibilități de îmbunătățiri ulterioare. Prin aceasta sistemul de fabricație respectiv poate fi adaptat în continuare printr-o flexibilitate bidirecțională prin lărgirea posibilităților multiple de funcționare și posibilitatea de îmbunătățire în timp, în special a dirijării fluxului de informații. Folosirea unei astfel de strategii se datorește faptului că realizarea unui sistem de fabricație reprezintă un efort financiar mare pentru utilizator, el trebuind deci să fie folosit o perioadă cît mai mare de timp, iar modernizările necesare ulterior, în special în prelucrarea fluxului de informații (completări și nu înlocuiri ale instalațiilor de calcul), trebuie să fie cît mai puțin costisitoare.

În ceea ce privește obiectivele cercetării științifice se subliniază faptul că sistemele tehnologice flexibile nu reprezintă o țintă finală, ci o etapă intermediară spre realizarea sistemelor integrate de proiectare și fabricație asistate de calculator în care definiția numerică va înlocui reprezentarea analogică și desenul produsului.

Scanned with OKEN Scanner

9.2. STRUCTURA SISTEMELOR FLEXIBILE DE FABRICAȚIE

În prezent, pe plan mondial sînt utilizate cele mai diferite concepții privind instalațiile flexibile de producție, de la mașina individuală înalt automatizată (exemplu: centru de prelucrare) pînă la sistemul flexibil de fabricație cu flux de piese și scule asistat de calculator. Numărul sistemelor flexibile de fabricație este în continuă creștere, ele fiind realizate în domeniul construcției de motoare, mașini poligrafice, aeronave, mașini-unelte, precum și scopuri de cercetare în instituții de învățămînt superior.

Indiferent de modul de organizare, structura unei celule flexibile de fabricație se compune dintr-o anumită specificație de module tipizate precum și dintr-un număr de părți specifice care pot fi componente cu rol funcțional sau interfețe. În cazul unei celule robotizate, ca în fig. 9.4, robotul industrial și mașinile-unelte reprezintă modulele tipizate, iar părțile specifice cu rol funcțional sînt reprezentate de dispozitivul de apucare al robotului, dispozitivele de prindere pe mașini-unelte și dispozitivele de intrare și ieșire din sistem. Panourile de concentrare a diferiților senzori introduși în sistem au rolul de interfețe.

La definirea structurii unui sistem flexibil de fabricație trebuie dat răspuns la o multitudine de probleme, între care esențiale sînt: determinarea operațiilor de prelucrare rentabile a se executa pe mașinile-unelte integrate în sistem; tipul și numărul mașinilor-unelte care se integrează în mod rentabil în cadrul sistemului; dimensiunile de lucru și puterea de antrenare a mașinilor; suprafața ocupată și spațiile între elementele sistemului, precizia de prelucrare, asigurarea fluxului de materiale și a fluxului informațional etc.

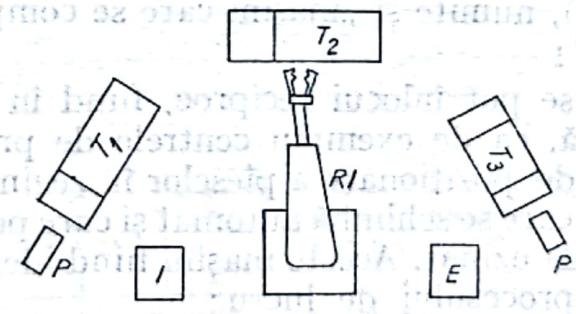


Fig. 9.4. Exemplu de structură a unei celule de fabricație robotizate:
T_1, T_2, T_3 — mașinii-unelte; I, E — dispozitive de intrare și ieșire; P — panouri de interconectare; RI — robot.

Scanned with OKEN Scanner

Un rol important în stabilirea structurii și amplasării mașinilor în cadrul unui sistem flexibil de fabricație îl are forma și geometria pieselor ce urmează a se prelucra. Pentru fiecare tip de piese există un tip optim de sisteme de fabricație și reciproc fiecare sistem de fabricație are domeniul lui favorabil de utilizare. Așa, de exemplu, există o deosebire între sistemele de fabricație pentru piesele de revoluție și cele pentru piesele prismatice în ceea ce privește tehnologia optimă de lucru, înmagazinarea sau transportul de piese.

Deosebirea esențială între cele două tipuri de sisteme flexibile este determinată de operația de manevrare a pieselor care determină specificul „fluxului de materiale".

La sistemele destinate pieselor de revoluție, pentru alimentarea mașinilor-unelte integrate, se utilizează cu precădere roboții și mîinile mecanice a căror flexibilitate este sporită prin posibilitatea schimbării locurilor de apucare în funcție de geometria pieselor respective.

La sistemele destinate prelucrării pieselor prismatice pentru alimentarea mașinilor-unelte integrate se utilizează palete și mecanisme de paletare. Pentru prelucrarea acestui tip de piese, care necesită o gamă variată de operații de găurire, alezare, frezare, se folosesc cu deosebire centrele de prelucrare datorită dotării cu magazine proprii de scule și a mecanismelor adaptate din punct de vedere cinematic pentru schimbarea automată a sculelor.

O condiție care trebuie respectată la prelucrarea de piese diferite în cadrul sistemelor automatizate este reglementarea prin normative sau standarde a tuturor operațiilor de prindere și schimbare.

Alegerea mașinilor-unelte la dotarea sistemelor flexibile de fabricație pot fi încadrate în următoarele situații:

a) mașini care în desfășurarea procesului tehnologic se completează, în sensul că fiecare dintre ele execută o anumită operație tehnologică (frezare, găurire etc.), numite și „mașini care se completează" sau „mașini complementare";

b) mașini care se pot înlocui reciproc, fiind în general mașini de complexitate ridicată, ca de exemplu centrele de prelucrare, care dispun de posibilități de poziționare a pieselor în regim variabil de lucru, multitudine de scule care se schimbă automat și care pot prelucra complet sau în parte piesele de uzinat. Aceste mașini fiind identice se pot înlocui reciproc în timpul procesului de lucru;

c) sistem de mașini mixte, rezultate din combinarea mașinilor complementare cu mașinile care se pot înlocui reciproc. Acest sistem, în cele mai multe cazuri la fabricația de serii mici, devine cel mai eficient, deoarece mașinile care se pot înlocui dau flexibilitatea necesară

Scanned with OKEN Scanner

liniei, în timp ce unitățile de prelucrare complementare — mai simple — o completează. De exemplu, dacă o mașină de frezat sau de găurit, care execută operații de frezare sau găurire simple, este suprasolicitată, atunci o parte din aceste operații pot fi predate spre realizare centrelor de prelucrare existente în linia de fabricație.

Fiecare din situațiile de mai sus pot prezenta atît avantaje, cît și dezavantaje.

Referindu-ne la primele două cazuri redate în fig. 9.5, se poate remarca faptul că din punct de vedere al utilizării posibilităților tehnice, în cazul mașinilor care se completează, acestea sînt mai bine acoperite, deși ele dispun de posibilități mai reduse.

În cazul centrelor de prelucrare care dispun de posibilități tehnice, mai mari în timp, apare posibilitatea ca la prelucrarea unor piese să nu se folosească decît o parte din aceste posibilități.

În primul caz, folosirea în timp a mașinilor care se completează este mai redusă, deoarece profilul unui sistem nu poate corespunde decît într-o anumită măsură temelor de prelucrare pentru rezolvarea cărora este destinat. Un asemenea sistem de fabricație este mai apropiat organizării tehnologice bazată pe „specializarea proces" caracterizat printr-o rigiditate mare la trecerea unei producții diversificate.

Pentru dimensionarea corectă a dotării cu aceste mașini, rapoartele dintre timpul de prelucrare a unei piese pe fiecare din aceste mașini (exemplu: strunguri, freze, mașini de găurit etc.) și timpul total de prelucrare a pieselor, trebuie să fie cît mai apropiate. Cu cît împrăștierea

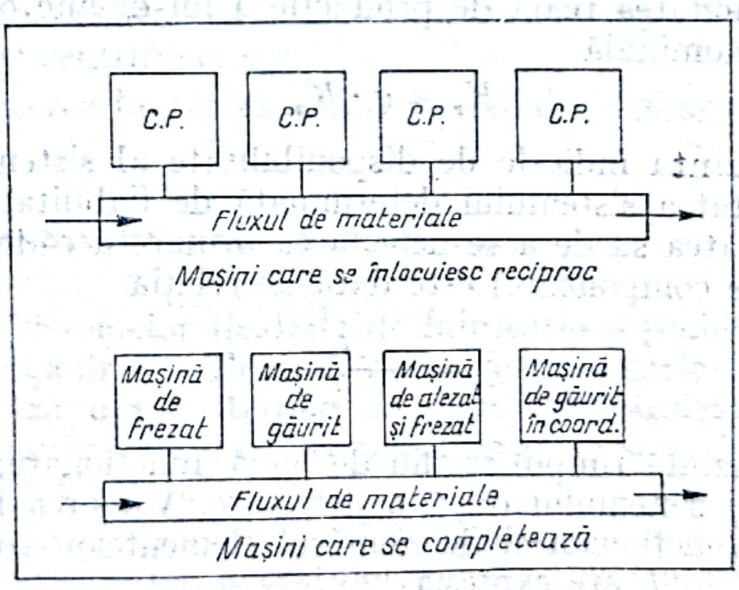


Fig. 9.5. Principii de integrare a mașinilor-unelte în sistemele flexibile de fabricație.

acestor valori este mai mare, cu atît este mai redusă utilizarea în timp a mașinilor respective.

În cazul unor diferențe mari, pentru păstrarea unui tact tehnologic constant, în locurile la care timpul de prelucrare este mare, creîndu-se strangulări, se introduc suplimentar mașini, iar în locurile în care timpul de prelucrare este inferior timpului mediu de prelucrare al sistemului, se introduc depozite tampon de piese.

La conceperea sistemului flexibil de fabricație se recomandă, din punct de vedere al costului investițiilor, ca acesta să fie format dintr-un număr mic de mașini integrate în unități modulare independente, care în funcție de problemele de rezolvat sînt utilizate independent sau cuplate. Acestea sînt legate cu un sistem de depozitare și transport și cu sistemul de comandă corespunzător treptei de automatizare.

Un sistem astfel creat trebuie să aibă pe de o parte posibilitatea unei dezvoltări ulterioare, iar pe de altă parte, în cazul omiterii sau defectării unui element component, restul sistemului să fie în măsură de a asigura continuitatea producției, suplinind activitatea elementului scos din circuitul productiv, fără perturbarea procesului în ansamblu.

Este cunoscut că teoria clasică a siguranței în funționare elaborată pentru studierea unor sisteme automate complexe din radiotehnică, electronică, electrotehnică, tehnică specială a fost puțin folosită în construcția de mașini. Dezvoltarea sistemelor flexibile de fabricație readuce puternic în actualitate această teorie, ignorarea ei conducînd la efecte economice ce nu mai pot fi neglijate.

Cu cît un sistem de automatizare flexibilă este mai complex, cu atît crește mai mult probabilitatea unor incidente pe parcursul lucrului, astfel încît capacitatea reală de producție a lui devine o fracțiune din capacitatea sa nominală

$$K_r = q \cdot K_n \tag{9.1}$$

în care q reprezintă indicele de disponibilitate al sistemului.

Disponibilitatea sistemului determinată de fiabilitatea sa funcțională (probabilitatea sa de a se defecta ca urmare a căderii accidentale a unor elemente componente) este dată de relația

$$q_1 = \frac{t_m}{t_m + t_i} \tag{9.2}$$

în care t_m reprezintă timpul mediu de bună funcționare, iar t_i durata indisponibilității sistemului după o defectare. Valoarea lui t_m depinde de fiabilitatea funcțională și de numărul elementelor componente cuplate în sistem, iar t_i are expresia

$$t_i = t_d + t_e + t_r \tag{9.3}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care t_d reprezintă durata diagnosticării defectului, t_e intervalul logistic sau durata necesară accesului la locul defectului a celor necesare pentru reparație (unelte, piese de schimb) și t_r durata reparației propriu-zise.

Totodată, trebuie avut în vedere că indicele de disponibilitate al sistemului depinde și de fiabilitatea procedeelor tehnologice aplicate pe fiecare loc de muncă, cum ar fi de exemplu: apariția unei piese defecte, uzura prematură a unei scule, manipulare defectuoasă etc.

Efectuarea remedierilor necesare implică stagnări în desfășurarea continuă a procesului tehnologic și modificarea indicelui de disponibilitate [22].

Ca urmare, este posibil ca în anumite situații să rezulte valori foarte scăzute a lui q care pot compromite efectele economice scontate.

În vederea creșterii disponibilității sistemelor tehnologice automate se impun o serie de măsuri după cum urmează:

— ridicarea fiabilității elementelor componente ale sistemelor tehnologice flexibile;

— creșterea mentenabilității sistemului prin asigurarea structurii modulare cu module de rezervă depozitate în imediata apropiere a lui;

— asigurarea accesului ușor la elementele cu fiabilitate redusă, precum și a posibilităților de decuplare și cuplare rapidă a acestora;

— evitarea înscrierii directe a unui număr mare de posturi de lucru; asincronizarea liniei prin magazine intermediare;

— ridicarea fiabilității procedeelor de lucru prin eliminarea influențelor cu caracter aleator ca: uzuri rapide, căderea liberă a corpurilor, efectele forțelor centrifuge. etc.

— introducerea în proces a unor materiale și piese de calitate superioară.

9.2.1. ORGANIZAREA FLUXULUI DE PIESE

În cadrul sistemelor flexibile de fabricație o problemă importantă o reprezintă organizarea fluxului de scule. Sistemele flexibile de prelucrare utilizează o multitudine de scule standardizate, speciale sau capete de prelucrare multiax. Numărul de scule se stabilește în funcție de „temele de prelucrare".

Sistematizarea modului cum sînt integrate sculele într-un „sistem", pe baza succesiunii operațiilor, pune în evidență trei variante de depozitare funcțională (fig. 9.6) a acestor scule: de lucru, tampon și de stocare.

Scanned with OKEN Scanner

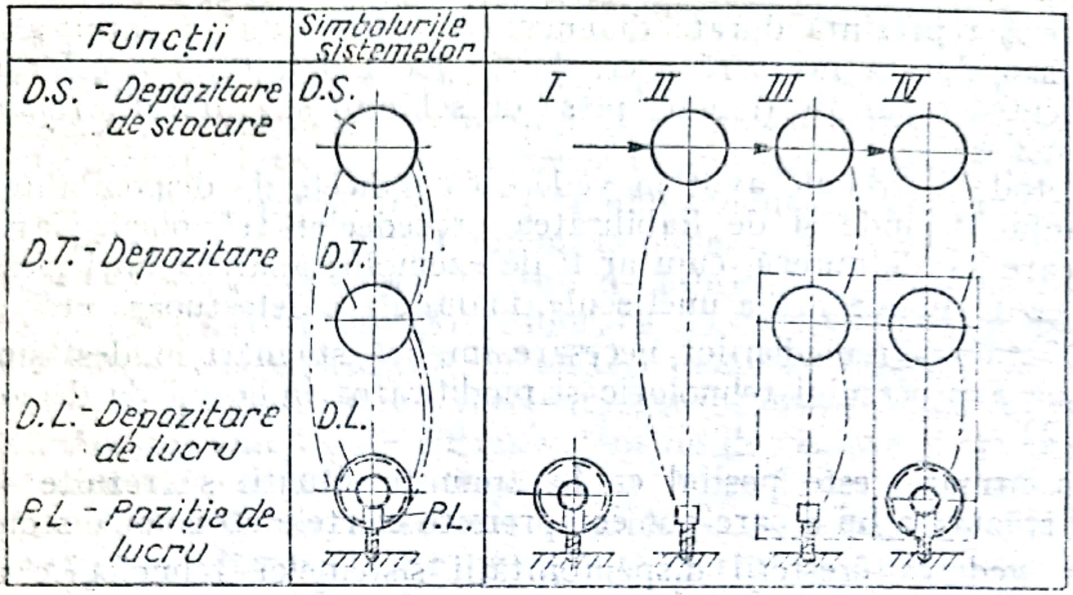


Fig. 9.6. Sistematizarea modului de integrare a sculelor într-un sistem flexibil:
I — schimbare manuală a sculelor; *II, III, IV* — schimbare automată a sculelor.

În varianta depozitării de lucru I, sculele rămîn într-o poziție fixă în timpul unui ciclu de lucru, într-un suport cu un singur post sau cu mai multe posturi (cap revolver). Alimentarea în acest caz se realizează manual.

În varianta II schimbarea sculelor din poziția de stocare în poziția de lucru se face automat (centre de prelucrare cu magazine de scule și mîini mecanice).

În varianta III și IV se utilizează depozite tampon intermediare, care sînt incluse în fluxul de schimbare automată a sculelor. Aceste depozite permit aducerea sculelor într-o poziție intermediară între depozitul de stocare și depozitul de lucru, ceea ce conduce la micșorarea timpului de schimbare a sculelor, deoarece timpul de manevrare se suprapune în cea mai mare parte cu timpul de uzinare.

După cum rezultă din schemă, în cazul variantei III sculele de la depozitarea tampon sînt aduse direct în poziție de lucru, pe cînd în varianta IV sînt aduse din depozitarea tampon în depozitarea de lucru, sistemul fiind o combinație între variantele I și III.

Prereglarea sculelor și controlul periodic al acestora reprezintă una din condițiile principale ale funcționării corespunzătoare a sistemelor flexibile de fabricație. De aceea se recomandă ca atît pentru controlul interfazic și final al pieselor, cît și pentru mașinile de prereglat scule, sistemul să fie dotat cu NC.

Scanned with OKEN Scanner

Una dintre problemele importante ale sistemelor flexibile de fabricație o constituie reducerea timpilor auxiliari necesari alimentării, manipulării și transportului de materiale.

În general se deosebesc două tipuri de trasee de alimentare a mașinilor integrate în sistem de către fluxul automat de piese. După cum rezultă și din fig. 9.7 se deosebește alimentarea în linie, în cazul mașinilor integrate în sistemul de fabricație în serie și alimentarea liberă, în situația cînd mașinile sînt integrate în paralel.

În primul caz intrarea se realizează la un capăt și ieșirea la celălalt capăt al liniei, iar în cazul al doilea intrarea și ieșirea au loc într-un singur loc pentru fiecare mașină în parte.

Stabilirea traseului într-un sistem de fabricație se face pe baza unor criterii ca: forma pieselor, tema de prelucrare, mașinile-unelte integrate, suprafața totală de amplasare, punctele de legătură cu alte sectoare adiacente etc.

Indiferent de tipul procesului tehnologic pe care piesele îl parcurg în timpul prelucrării, acestea își modifică locul de amplasare și poziția în spațiu față de axele de coordonate. Aceste modificări se realizează cu elementele sistemului de alimentare cu piese.

Funcțiile care trebuie asigurate în cadrul fluxului de materiale de către elementele constitutive ale unui sistem de alimentare cu piese pot fi clasificate în patru grupe:

1) realizarea depozitării pieselor: buncăre, magazii;

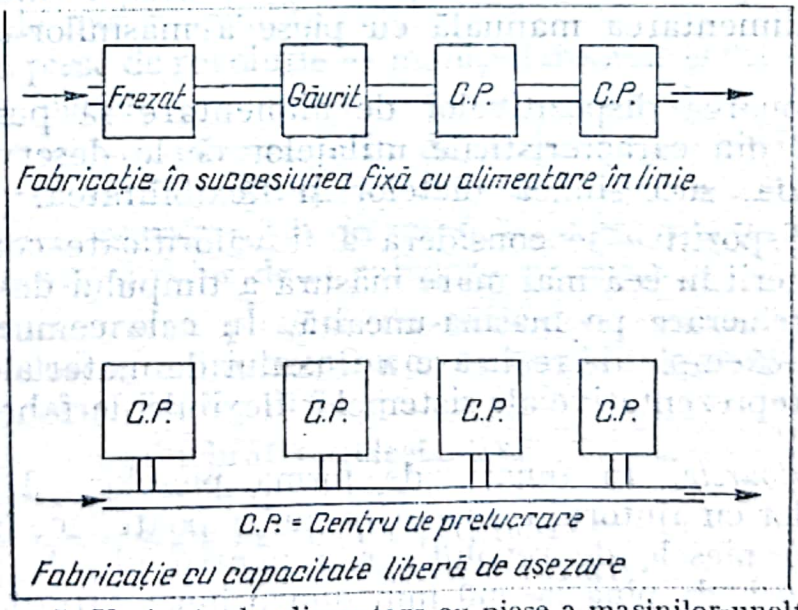


Fig. 9.7. Variante de alimentare cu piese a mașinilor-unelte integrate în sisteme flexibile de fabricație.

Scanned with OKEN Scanner

2) realizarea deplasării pieselor: completare, distribuire intrare, ieșire;

3) modificarea poziției pieselor: așezare, rotire, rabatare, deviere, poziționare;

4) strîngere, eliberare, blocare, deblocare.

Pentru a se putea utiliza aceleași elemente de manevră și pentru a se asigura aceleași condiții de manipulare pentru piese diverse pe diferite trasee, piesele de revoluție sînt manevrate cu suporturi de piese de tipul navetelor, iar piesele prismatice cu suporturi tip paletă.

Cerințele pe care trebuie să le îndeplinească dispozitivele de manipulare pentru realizarea funcțiunilor amintite în condițiile de mai sus sînt următoarele:

a) adaptarea la caracteristicile pieselor (formă, dimensiuni, greutate, stabilitate) în vederea asigurării deplasării acestora în mod lin și stabil și a asigurării unei depozitări corespunzătoare;

b) mecanismele de alimentare să fie prevăzute cu un număr de grade de mobilitate suficient de mare pentru a putea realiza modificările necesare impuse de schimbarea pieselor sau a condițiilor de lucru;

c) precizia și stabilitatea dispozitivelor de manipulare trebuie să aibă valori inferioare de obicei celor asigurate de mașinile prelucrătoare, însă în limite constante;

d) ordinea desfășurării funcțiilor individuale trebuie să fie corectă și stabilă, corelat cu necesitățile procesului de prelucrare;

e) să aibă un grad de fiabilitate și mentenabilitate ridicat, astfel încît să permită montarea, reglarea, intervențiile de reparații și urmărirea funcționării pe perioadele planificate cît mai ușor, evitîndu-se întreruperile neprevăzute de funcționare, iar atunci cînd acestea apar să permită alimentarea manuală cu piese a mașinilor-unelte pe care le deservesc;

f) funcționarea dispozitivelor de alimentare să pună în valoare cît mai mult din caracteristicile utilajelor ce le deservesc, respectiv viteza, precizia, succesiunea tactelor și flexibilitatea.

Aceste dispozitive se consideră a fi valorificate corect în condițiile suprapunerii în cea mai mare măsură a timpului de alimentare cu timpul de prelucrare pe mașina-unealtă. În cele ce urmează vor fi redate cîteva exemple de realizare a fluxului de materiale cu elemente constructive reprezentative ale sistemelor flexibile de fabricație.

Transportoarele. În funcție de forma pieselor, deplasarea de-a lungul traseelor cu ajutorul transportorului se poate face în două feluri:

— pentru piesele de revoluție sau pentru piesele prismatice de dimensiuni mici, de pînă la 300 mm dimensiunea laturilor, deplasarea se poate face cu ajutorul transportorului, care din punct de vedere

Scanned with OKEN Scanner

constructiv poate fi cu: lanț, role, ghidaje cilindrice și antrenare cu bară centrală etc.;

— pentru piesele prismatice deplasarea se poate face cu cărucioare prevăzute cu mecanisme proprii de deplasare sau cu cărucioare deplasabile de transportoare.

Transportoarele se construiesc în general din unități independente, care se pot așeza în serie, cap la cap de-a lungul traseului tehnologic.

Un exemplu de folosire a transportoarelor îl constituie sistemul „Palett Trans", care pot fi amplasate atît pentru prelucrări succesive, cît și pentru prelucrări în paralel.

Transportul pieselor se face cu ajutorul unei benzi rulante acționată cu role individuale, care interacționează prin fricțiune. Banda rulantă se amplasează la același nivel cu planul în care se află suprafețele de prindere a pieselor pe mașinile-unelte derivate.

Piesele deplasate sînt așezate de-a lungul transportorului de palete. Oprirea paletelor în dreptul mașinilor-unelte unde piesele sînt preluate sau depuse pe palete (în cazul pieselor prelucrate) se comandă cu ajutorul limitatoarelor de cursă.

Pentru reîntoarcerea paletelor la punctul inițial de plecare, după descărcarea pieselor la sfîrșitul liniilor, acestea se depun pe traseul de evacuare, care se află amplasat într-un plan interior traseului de alimentare.

Deplasarea paletelor în cele două direcții se realizează cu ajutorul motoarelor electrice.

Mecanisme de manevrare. Preluarea pieselor de pe transportoare și amplasarea lor pe mașini-unelte se realizează cu diferite mecanisme, dintre care cele mai răspîndite sînt:

— pentru piese de revoluție — manipulatoarele și roboții industriali;
— pentru piesele prismatice — mecanismele de paletare.

Avînd în vedere că sistemele de manevrare vor fi relatate mai în detaliu cadrul analizei diferitelor sisteme de fabricație, în continuare vom face cîteva considerații, în mod succint, asupra mecanismelor destinate manevrării celor două categorii de piese.

Pentru manevrarea pieselor de revoluție cu raportul de sveltețe $L/D \approx 1$ se folosesc mîini mecanice, în diferite variante constructive, conform schemelor din fig. 9.8:

— tipul a — cu un braț cu clește fix
— tipul b — cu un braț cu clește rotativ
— tipul c — cu două brațe cu clești ficși
— tipul d — cu două brațe cu clești rotativi
— tipul e — cu patru sau mai multe brațe cu clești ficși
— tipul f — cu patru sau mai multe brațe cu clești rotativi.

Scanned with OKEN Scanner

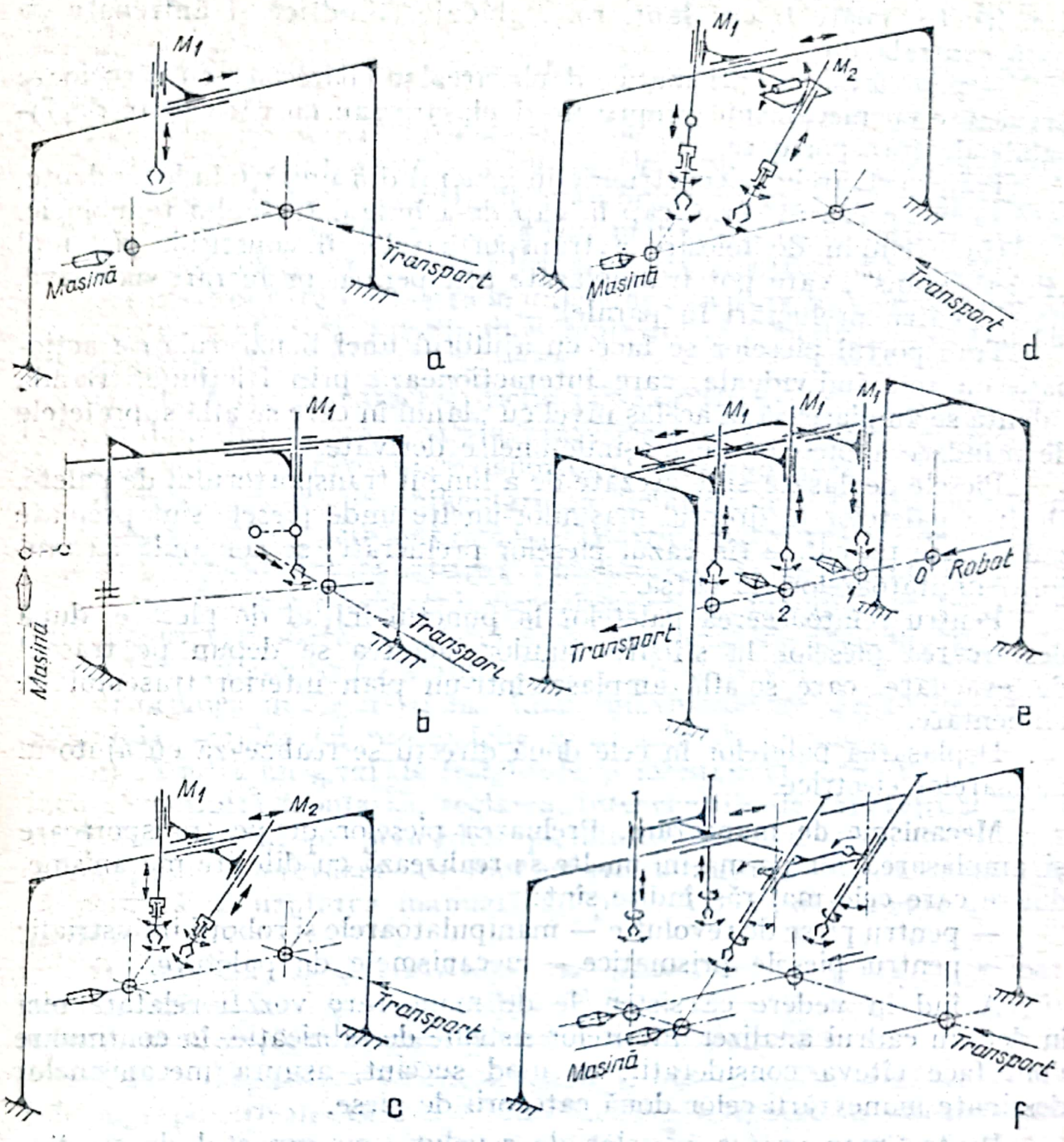


Fig. 9.8. Tipuri de mîini mecanice folosite în sistemele de fabricație flexibilă.

În general, pentru prelucrarea unei piese de revoluție sînt necesare următoarele operații: strunjirea primei fețe; strunjirea celei de a doua fețe; frezarea și găurirea verticală față de axa de rotație; frezarea și găurirea paralel cu axa de rotație.

Pentru realizarea acestor operații în cadrul unui sistem de fabricație sînt necesare două pînă la patru stații de prelucrare. În condiții

Scanned with OKEN Scanner

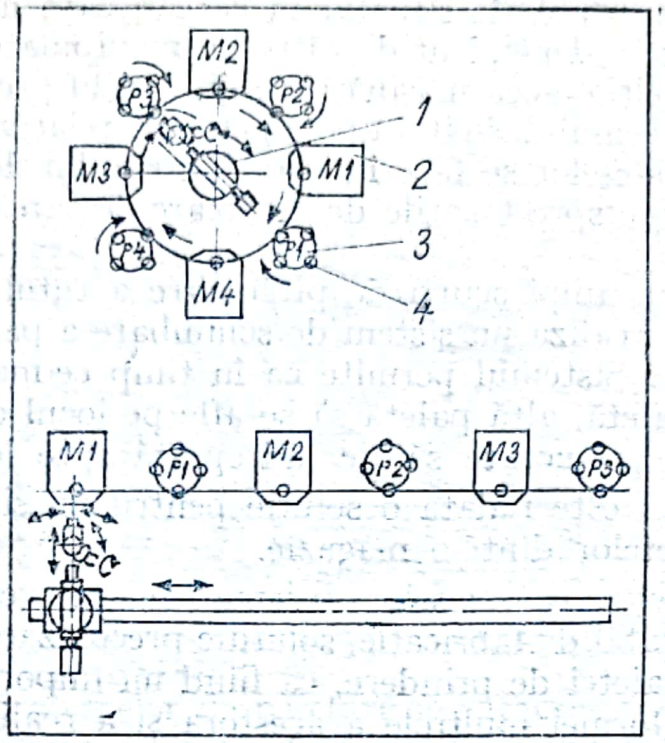


Fig. 9.9. Sisteme de mașini cu amplasament circular:
1 — manipulator central; *2* — mașini; *3* — paletă; *4* — piesă; *a* — cu manipulator central; *b* — cu manipulator pe calea longitudinală.

optime de organizare și amplasare a mașinilor, astfel de stații de prelucrare sînt deservite de un singur manipulator.

În figura 9.9 este redată o celulă de fabricație cu amplasare circulară a mașinilor și cu manipulator de deservire în poziție centrală. Deservirea sistemului de către manipulator constă din apucarea pieselor de pe palete, alimentarea cu ele a mașinilor și readucerea pieselor prelucrate pe paletă.

Din punct de vedere al spațiului necesar și a mișcărilor utile ale manipulatorului un astfel de sistem este mai eficient decît sistemul cu mașini dispuse în linie. Construcția și comanda manipulatorului sînt considerabil simplificate cînd paleta efectuează o mișcare de rotație. În acest caz, manipulatorul comandă aceeași poziție atît pentru alimentare cît și pentru evacuare. În cazul folosirii unui sistem de palete cu mai multe etaje se înțelege că diferitele înălțimi trebuie programate.

În cazul deservirii mai multor stații de prelucrare de către un singur manipulator, există posibilitatea ca un număr de mașini să încheie concomitent procesul automat de prelucrare și să aștepte în același moment noi piese de prelucrat. Dacă sistemul de comandă este astfel realizat încît, în acest caz, manipulatorul deservește întotdeauna așa numita „mașină-loc îngust", productivitatea sistemului scade în

Scanned with OKEN Scanner

mod nesemnificativ față de situația în care fiecare mașină din sistem ar fi fost deservită independent de către un manipulator. Prin „mașină-loc îngust" se înțelege acea mașină care, în cadrul programului de producție, este cel mai mult solicitată pe o perioadă relativ scurtă, de 24 ore.

Încărcarea paletelor se face în afara sistemului de mașini, pe anumite traseuri scurte spre locurile de încărcare-descărcare conform schemei din fig. 9.10.

În cazul unor timpi scurți de prelucrare a tuturor pieselor de pe o paletă, se poate realiza un sistem de schimbare a paletelor ca cel prevăzut în fig. 9.11. Sistemul permite ca în timp ce manipulatorul preia piesele de pe o paletă, altă paletă să se afle pe locul de prezentare, iar paleta cu piesele prelucrate să fie îndreptată spre locul de preluare.

În figura 9.12 este redată o soluție pentru un sistem automat de alimentare a paletelor dintr-o magazie.

Pentru manevrarea pieselor prismatice, în vederea prelucrării într-un sistem flexibil de fabricație, soluțiile preconizate acordă o importanță deosebită paletei de prindere, ca fiind un important mijloc auxiliar în condițiile formei multiple a acestora și a realizării unui proces automat de prindere pe toate mașinile. Mecanismele de paletare, folosite în cazul pieselor prismatice, au rolul principal de a inversa poziția față de unitatea de lucru a piesei paletate care a fost prelucrată cu piesa paletată care urmează să fie prelucrată. Aceste mecanisme trebuie să îndeplinească două condiții:

— asigurarea preciziei de așezare a pieselor pe masa mașinii-unelte;

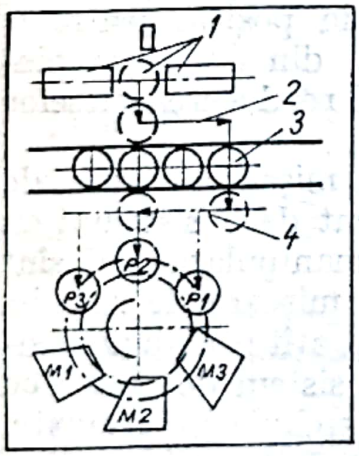


Fig. 9.10. Sistem de mașini cu manipulator central și cu transportul mecanizat al paletelor:
— loc de descărcare; 2 — loc de încărcare (alimentare).

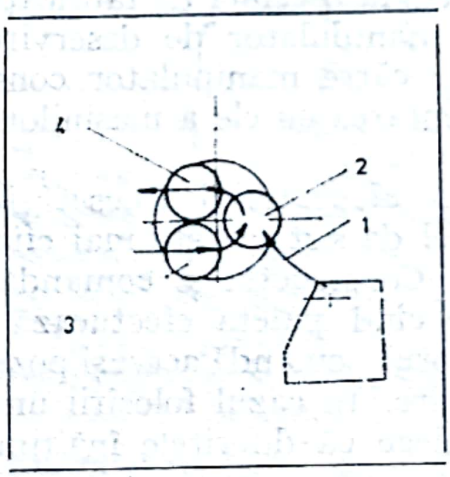


Fig. 9.11. Instalație de schimbare a paletelor:
1 — mișcare de intrare-ieșire; *2* — paletă în poziție de lucru; *3* — locul de pregătire a paletelor; *4* — loc de prelucrare a paletelor

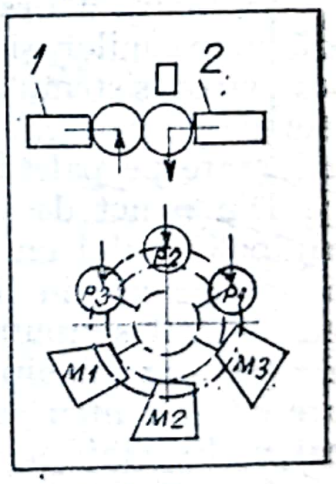


Fig. 9.12. Alimentarea automată cu palete:
1 — loc de alimentare și descărcare; *2* — introducere în depozit cu o instalație de transport; *3* — depozitul central; *4* — transportul cu comandă program al paletelor.

Scanned with OKEN Scanner

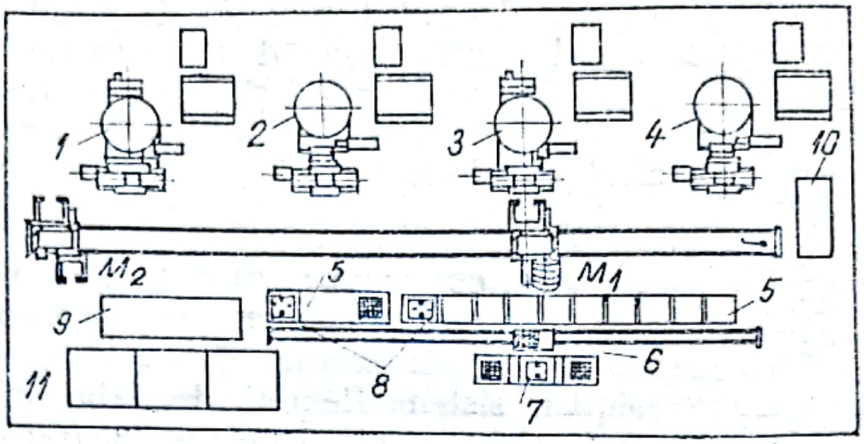


Fig. 9.13. Sistemul flexibil de mașini „F 250":

1–4 — centre de prelucrare; *5* — depozit de piese; *6* — dispozitiv de deservire a depozitului; *7* — stație de prindere a pieselor; *8* — în loc de pregătire; *9* — stație de spălare; *10* — dulap hidraulic; *11* — dulap electric; M_1, M_2 — manipulator.

— schimbarea rapidă a poziției piesei prelucrate cu cea a piesei care urmează a fi prelucrate

Cinematica sistemelor de paletare se caracterizează prin două feluri de mișcări: translație și rotație. Datorită formei pieselor, paleta asigură o stabilitate și fixare bună, permițînd pe lîngă o prindere automată simplă pe mașină și o simplificare considerabilă a dispozitivului de apucare.

În figura 9.13 este redată schița unui astfel de sistem de prelucrare deservit de un manipulator prevăzut cu dispozitiv dublu de apucare. Manipulatorul preia piesa, împreună cu paleta, fie de la un loc pregătit, fie direct din depozit, caz care implică însă recunoașterea de către manipulator a piesei respective.

Depozitarea pieselor poate fi realizată printr-un sistem suplimentar de transport (fig. 9.13), iar locul de depozitare poate fi concomitent și loc de prindere a pieselor (fig. 9.14). În fig. 9.15 este redată situația

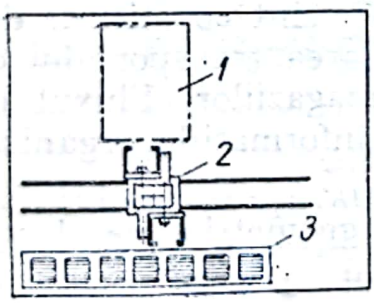


Fig. 9.14. Depozit simplu de piese pentru sisteme flexibile de mașini:

1 — mașină; *2* — manipulator; *3* — depozit și stație de prindere a pieselor.

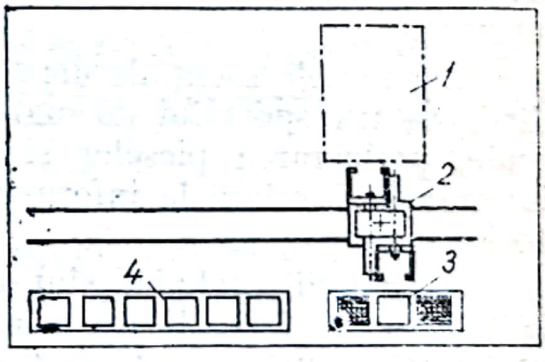


Fig. 9.15. Sistem flexibil de mașini cu stații de depozitare și de prindere a pieselor, amplasate în paralel:

1 — mașină; *2* — manipulator; *3* — stație de prindere a pieselor; *4* — depozit.

Scanned with OKEN Scanner

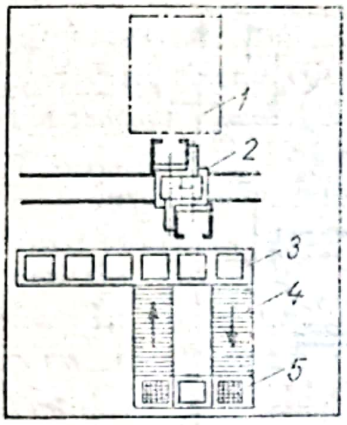


Fig. 9.16. Sistem flexibil de mașini cu legătură, prin cale cu role, între depozit și stația de prindere a pieselor:

1 — mașină; *2* — manipulator; *3* — depozit; *4* — cale cu role; *5* — stație de prindere a pieselor.

în care depozitul și stația de prindere a pieselor este deservită direct de către manipulator, iar în fig. 9.16 se reprezintă și alte mecanisme de legătură între stația de prindere a pieselor și depozitul de piese.

9.2.3. COMANDA SISTEMELOR FLEXIBILE DE FABRICAȚIE

Un sistem flexibil de fabricație, în cazul producției discrete, este reprezentat de o serie de unități de lucru legate printr-un sistem comun de comandă și transport, astfel încît să se poată realiza o fabricație automată în condițiile schimbării sarcinilor de producție atît sub aspectul produsului cît și al metodelor de producție.

Un astfel de sistem trebuie să aibă aptitudinea de a memora, selecta și chiar de a modifica strategia, respectiv algoritmul de comandă, sub formă de program memorat intern. Astfel se asigură continuitatea procesului de producție în condiții de flexibilitate ridicată chiar și în situația efectuării unor schimbări în dotarea tehnică proprie, fără întreruperi însemnate ale ciclurilor de fabricație.

Sistemul de comandă reprezintă componenta principală care asigură integrarea elementelor sistemului de automatizare flexibilă (aparatură de control, dispozitive de transport, sisteme de înmagazinare piese și scule etc.).

Rentabilitatea acestor sisteme depinde de gradul de corelare între fluxul de materiale și fluxul de informații realizat de sistemul de comandă utilizat.

Elementele esențiale ale fluxului de materiale sînt constituite din dirijarea transportului de materiale (piese), dirijarea transportului de scule, prelucrarea pieselor și „administrarea" magaziilor. Fluxul de informații se referă la informațiile tehnice și la informațiile organizatorice.

Informațiile tehnice sînt cele privitoare la geometria pieselor și la tehnologia de realizare a acestora.

Informațiile organizatorice indică piesele care trebuie prelucrate și stabilește corelarea acestora cu sculele, unitățile de lucru și programele de comandă. Această problemă este relativ mai simplă la mașinile care se înlocuiesc reciproc, ea rezumîndu-se la combinarea pieselor cu pro-

Scanned with OKEN Scanner

gramele de comandă, mașina-unealtă și sculele utilizate fiind universale. În cazul mașinilor complementare apare posibilitatea efectuării unor calcule de amplasare pentru determinarea unei succesiuni optime a operațiilor, la un tact cît mai constant posibil. Evident, pentru aceasta trebuie cunoscut cît mai bine timpul de staționare a pieselor la fiecare unitate de lucru.

Calculul de amplasare poate fi asistat de un calculator separat, care poate furniza pentru testare diferite variante de proces simulate. Funcțiile descrise pot fi automatizate în mod separat, pe instalații sau elemente, concentrate parțial sau complet (prin sistemele NC; CNC; DNC).

Pentru comanda adaptivă a sistemelor flexibile de fabricație pot fi utilizate atît calculatoare de capacitate mare, cît și minicalculatoare, proiectate în acest scop, în vederea realizării algoritmilor de calcul necesari optimizării procesului de prelucrare.

Pe măsura dezvoltării sistemelor flexibile de fabricație au fost amplificate și cercetările privind evaluarea eficienței economice și a flexibilității acestora. O metodă de evaluare a eficienței economice și a flexibilității sistemelor de automatizare flexibilă poate urma procedura prevăzută în fig. 9.3. Trecerea la proiectarea părților specifice ale sistemului se face numai după ce rezultatul reevaluărilor repetate devine favorabil.

Criteriile principale de evaluare a eficienței economice se bazează pe determinarea termenului de recuperare a investițiilor, pe economia de materiale și energie, creșterea productivității sau reducerea importurilor.

9.3. ANALIZA OPERAȚIILOR INDUSTRIALE EFECTUATE DE ROBOȚI ÎN CELULE DE AUTOMATIZARE FLEXIBILĂ

Înlocuirea operatorilor umani cu roboți în posturile de lucru implică o analiză a operațiilor industriale efectuate, din punct de vedere al posibilităților și performanțelor roboților. Fără o astfel de analiză nu se pot cunoaște operațiile elementare ale unei activități industriale, gradul lor de complexitate, dacă robotul ales răspunde la cerințele impuse, dacă este necesară modificarea postului de lucru etc. Sînt mai multe definiții ale unei sarcini industriale, din care enumerăm: „activitatea efectuată de una sau mai multe persoane și (sau) mașini,

Scanned with OKEN Scanner

în anumite condiții impuse, într-un interval de timp" sau „ansamblul de operații, avînd un scop comun și care sînt executate într-un interval de timp„.

Operațiile industriale se execută în locuri fixate, dotate cu mașini și aparate specifice, numite posturi de lucru.

Analiza operațiilor industriale se referă la analiza activităților efectuate de un robot (sau operator uman), într-un post de lucru (aparținînd unei celule flexibile de producție).

Această analiză are un rol pozitiv în programarea optimă a roboților, permite simplificări în secțiunile robotului prin amenajări ale postului de lucru și preîntîmpinarea accidentelor de lucru.

Din punct de vedere istoric, prima descriere a unui post de lucru (post de lucru din mină), apare în secolul al XVI-lea (într-o lucrare în limba latină) [66].

În 1729, inginerul Belidor în lucrarea „Știința ingineriei" introduce pentru prima dată măsurarea timpului de execuție a operațiilor elementare.

Creatorul modern al analizei operațiilor industriale este F. W. Taylor prin lucrarea „Principiile și direcțiile științifice ale întreprinderii", publicată în 1909. Prin soluțiile de organizare a locului de muncă de economisire a mișcărilor (propuse de lucrare) s-a obținut o mărire a productivității și o scădere a oboselii operatorilor umani. Metodele de analiză a activității umane pot fi directe sau indirecte, de observație, de separare a activității în micromișcări (căutare, selectare, apucare, ținere, transport, poziționare, asamblare, dezasamblare, inspectare, etc.), de măsurare a timpilor operațiilor elementare (MTM — Method Time Measure) etc.

Metoda de analiză MTM a stat la baza dezvoltării unei metode specifice de analiză a activității roboților (RTM — Robot Time and Motion) [92, 87, 86]. Metoda MTM este sintetic prezentată în fig. 9.17.

Analiza activității roboților în celulele de automatizare flexibilă este complexă și trebuie să rezolve problemele prezentate schematic în figura 9.18. Din figură rezultă că un sistem de analiză a activității roboților trebuie să rezolve probleme cum ar fi:

— determinarea parametrilor caracteristici și invarianți a unei operații industriale, funcție de procedeele de execuție alese;

— clasificarea operațiilor (sarcinilor robotului) funcție de criterii tehnice, economice și sociale, permițînd determinarea de familii de operații și determinarea unor modele pentru realizarea lor;

— studierea metodelor de descompunere a sarcinilor robotului în mișcări elementare și elemente de lucru.

Scanned with OKEN Scanner

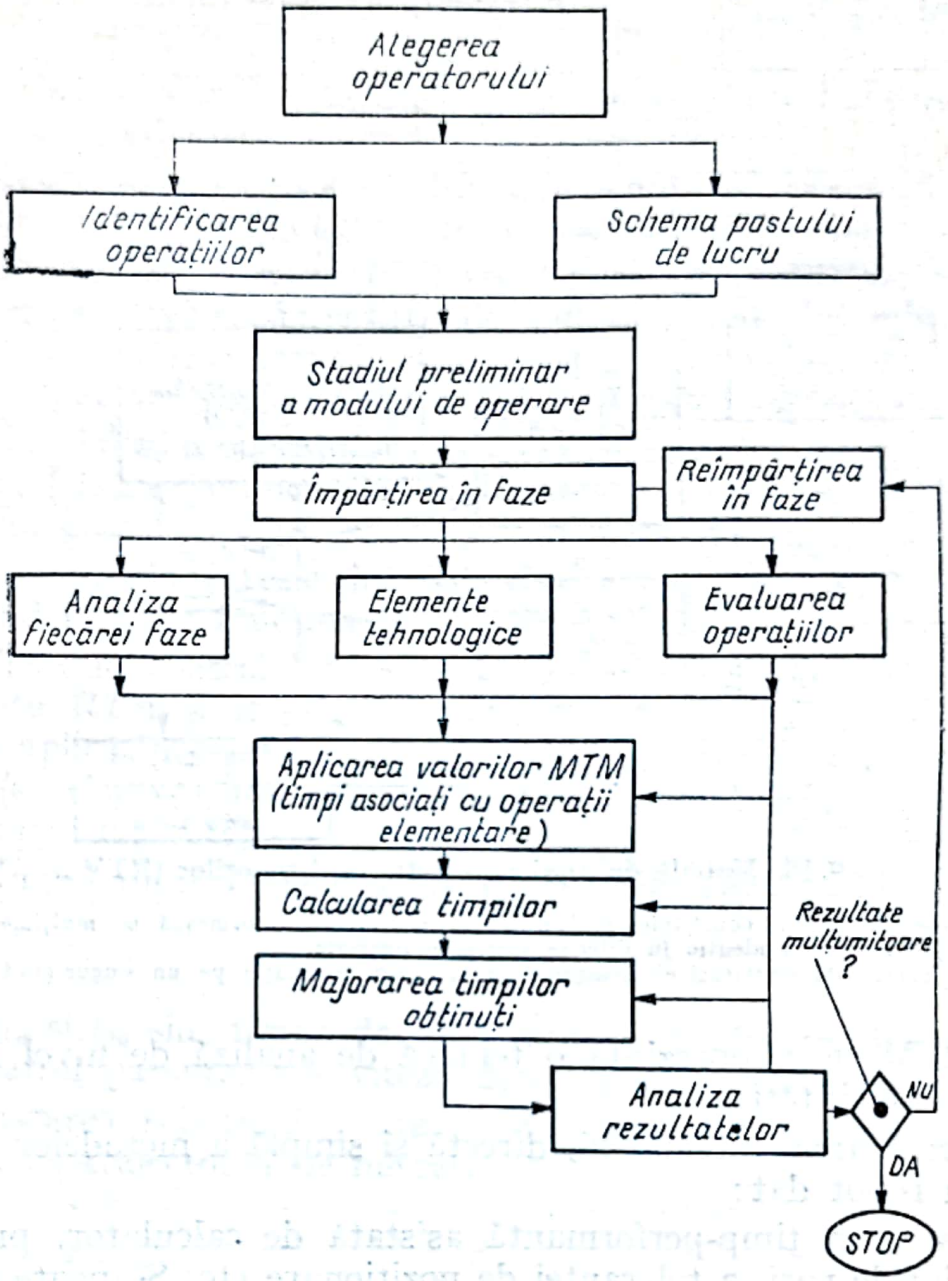


Fig. 9·17. Metodă de analiză a activității umane (MTM).

Dintre metodele de analiză a activității roboților cea mai cunoscută este metoda RTM (Robot Time and Motion) [86].

Utilizarea roboților în aplicații industriale ridică două mari probleme: „Care tip de robot și în ce configurație trebuie folosit pentru o aplicație dată"? și „Care este metoda optimă de execuție a unei sarcini industriale pentru un robot dat?".

Cele două probleme trebuie rezolvate în paralel, cu ajutorul unei metode de analiză de tipul RTM. În continuare se va prezenta pe scurt

Scanned with OKEN Scanner

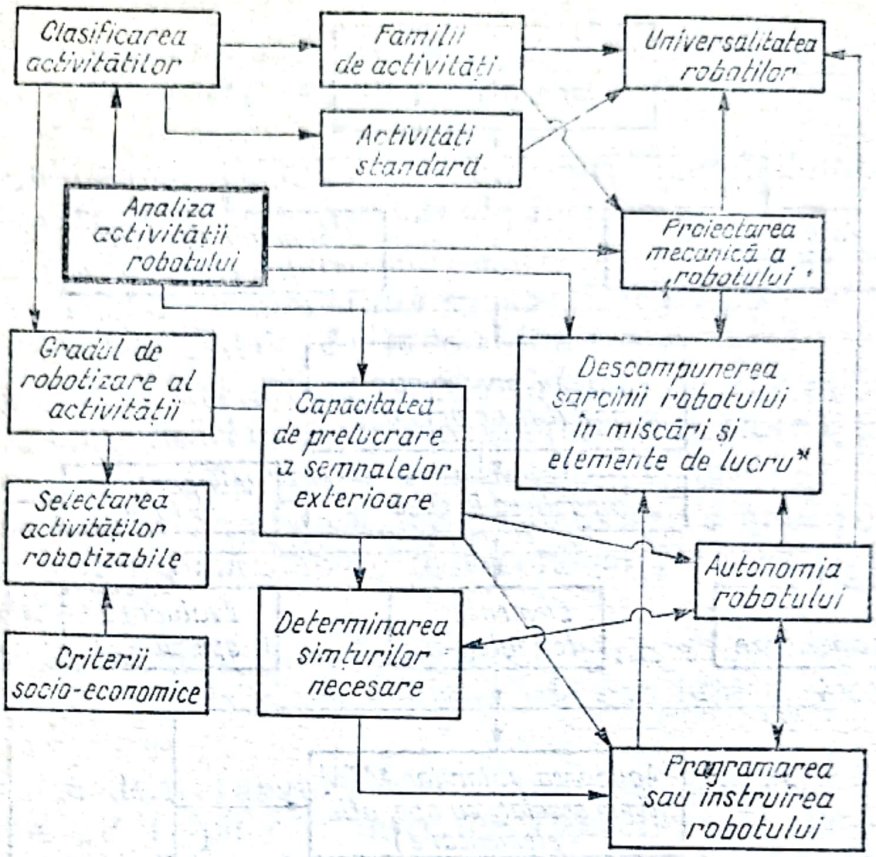


Fig. 9.18. Metodă de analiză a activității roboților (RTM).

* Elementele de lucru constituie mulțimea de mișcări care formează o mulțime de acțiuni logice, care se pot reproduce identic în diferite sarcini industriale.
Mișcările reprezintă deplasări elementare de rotație sau translație pe un singur grad de libertate.

metoda RTM care reprezintă o tehnică de analiză de nivel înalt, cu următoarele facilități:

— specificarea sistematică, directă și simplă a metodelor de lucru pentru un robot dat;

— evaluarea timp-performanță asistată de calculator, precum și a numărului de pași, a toleranței de poziționare etc. Se poate compara performanța soluțiilor alternative;

— evaluarea repetată a performanțelor pentru o metodă de lucru, folosind modele diferite de roboți.

Sistemul RTM este format din trei componente majore: elementele RTM; modelele de performanță ale activității roboților; analizorul RTM.

Elementele RTM se împart în patru grupe mari:

1) elemente de mișcare reprezentînd mișcarea brațului și reorientarea lui cu și fără sarcină;

2) elemente senzoriale care reprezintă acțiunile senzoriale ale robotului funcție de informația de poziție, forță, vedere etc.;

Scanned with OKEN Scanner

3) elementele organului efector și a sculei robotului (mînă, degete etc.);

4) elemente de întîrziere, care realizează întîrzierile necesare procesului de producție.

Fiecare element este specificat cu anumiți parametri, cum ar fi: distanța de deplasare, unghiul de rotație, eroare de poziție etc.

Sistemul RTM folosește patru tipuri de modele de performanță: tabele de performanță; ecuații de regresie; controlul mișcării; geometria traiectoriei.

Tabelele de performanță corespund tabelelor folosite în metoda MTM de analiză a operațiilor efectuate de operatori umani. Ele se întocmesc pe baza experimentelor de laborator și cuprind, pentru un robot dat, timpii de execuție a operațiilor elementare.

Ecuațiile de regresie sînt utile cînd valorile observate sînt aleatoare sau cînd relațiile funcționale complicate trebuie aproximate.

Modelele controlului mișcării sînt utile pentru prima grupă de elemente RTM și implică cunoașterea datelor tehnice ale robotului. Ele se aplică în concordanță cu modelul de variație al vitezelor robotului (accelerare, mișcare cu viteză constantă impusă de utilizator, decelerare; fig. 9.19).

Timpul total T de mișcare pentru segmentul n din fig. 9.19 este

$$T = t_{1n} + t_{3n} + t_{2n} \tag{9.4}$$

unde t_{1n} și t_{3n} sînt timpii de accelerare și decelerare, iar $t_{2n} = s/v$, cu s — spațiul parcurs, v — viteza dorită pentru mișcarea respectivă.

Mișcarea robotului poate fi, de asemenea, modelată cu ajutorul geometriei traiectoriei de mișcare.

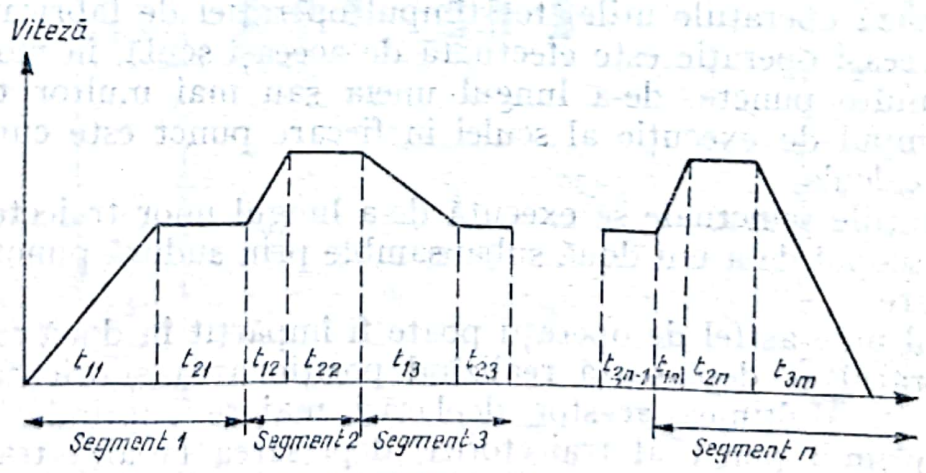


Fig. 9.19. Model RTM pentru controlul mișcării.

Scanned with OKEN Scanner

Cunoscînd vitezele articulațiilor motoare și distanța liniară sau unghiulară pe care trebuie ele să le parcurgă, funcție de geometria traiectoriei impuse, se calculează timpii de terminare a mișcării pentru fiecare grad de mobilitate. Timpul cel mai lung reprezintă și timpul de realizare a mișcării robotului. Analizorul RTM specifică în mod sistematic diferitele sarcini industriale ale robotului și le calculează performanțele (din punct de vedere al timpului de execuție).

Ca date de intrare primește numele sarcinii industriale de executat, tipul robotului și a modelului de evaluare al performanțelor. Specificarea operațiilor sarcinii industriale analizate cuprinde grupe de operații care se execută repetat sau în paralel, acțiuni de transfer necondiționat sau condiționat între operații.

Evident, un astfel de sistem cuprinde o bibliotecă de roboți, iar pentru aceeași sarcină industrială se selectează robotul care prezintă performanțele cele mai bune.

9.3.1. MODELE DE PERFORMANȚĂ PENTRU OPERAȚII PUNCTUALE

Majoritatea roboților actuali în lucru sînt cu comandă punct cu punct (PTP — point to point). Un model care să determine performanța de timp a operațiilor punctuale robotizate este important (majoritatea aplicațiilor robotizate în construcția de automobile sînt sudurile în puncte). Deoarece, în general, se folosesc mai mulți roboți care lucrează independent la realizarea unei aplicații punctuale (exemplu: mai mulți roboți sudează caroseria unui automobil) este important să se cunoască lungimea ciclului de lucru a fiecărui robot (fig. 9.20 și fig. 9.21).

Operațiile punctuale se caracterizează prin următoarele caracteristici:

— un robot transportă o sculă sau un subansamblu (asupra căruia se efectuează operațiile utile) tot timpul operației de fabricație;

— aceeași operație este efectuată de aceeași sculă, în mod repetat, în mai multe puncte, de-a lungul uneia sau mai multor traiectorii;

— timpul de execuție al sculei în fiecare punct este cunoscut sau se poate calcula.

Operațiile punctuale se execută de-a lungul unor traiectorii predefinite cu scopul de a uni două subansamble prin sudură punct cu punct sau nituire.

Ciclul unei astfel de operații poate fi împărțit în două faze:

1) brațul se deplasează realizînd poziționarea și orientarea sculei (obiectului). Mulțimea acestor deplasări majore cuprinde deplasarea pînă la primul punct al traiectoriei, deplasarea la altă traiectorie și deplasarea la poziția de parcare;

Scanned with OKEN Scanner

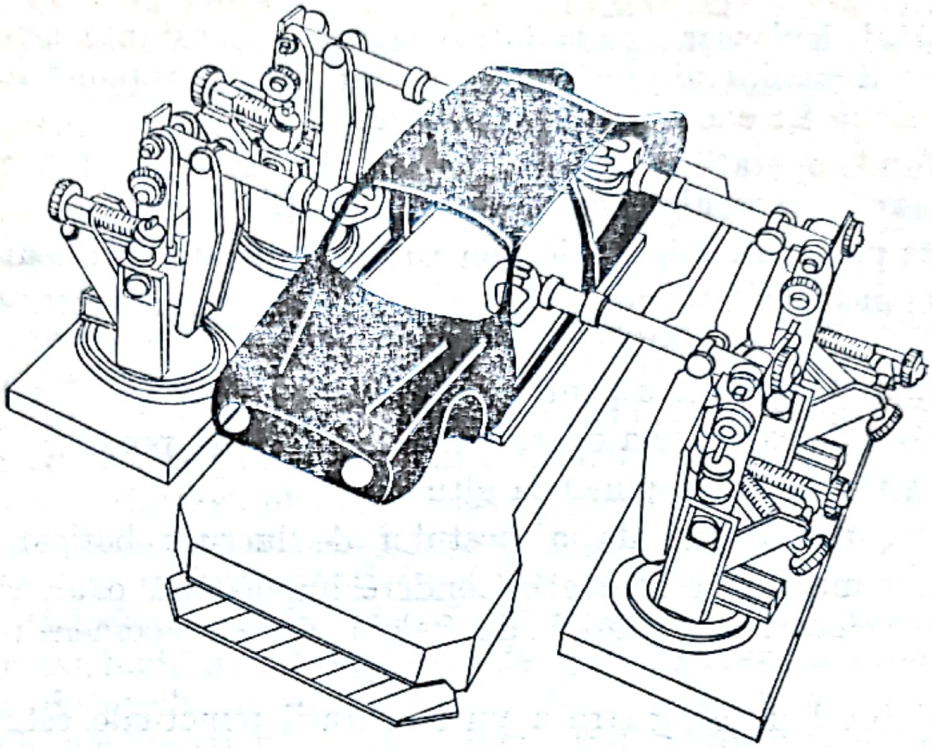


Fig. 9.20. Aplicații robotizate în construcția de automobile.

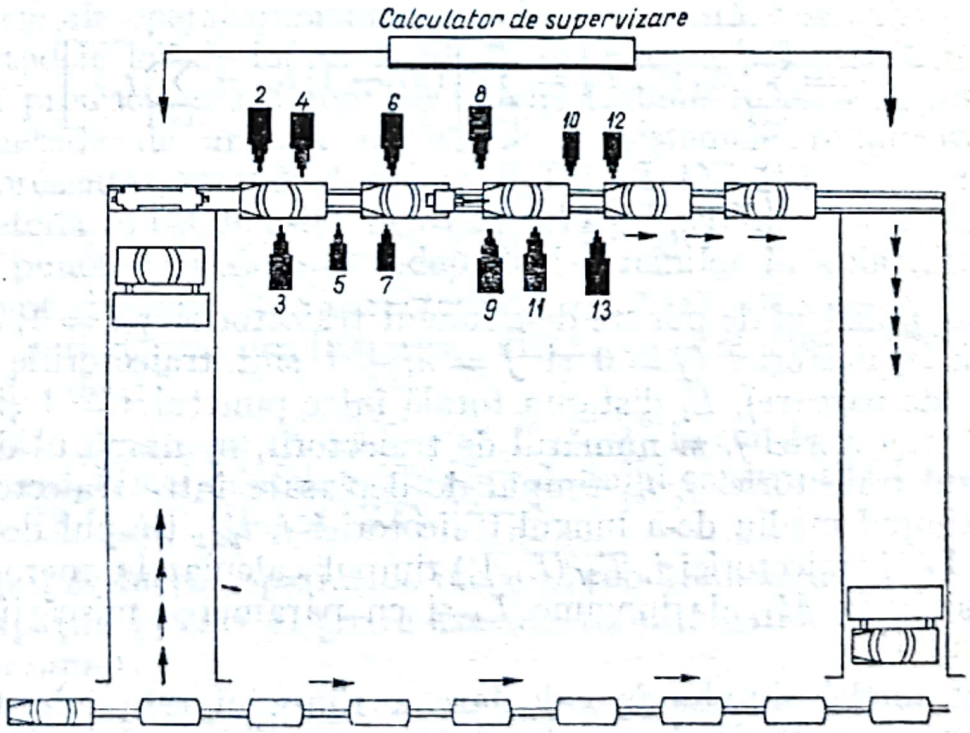


Fig. 9.21. Determinarea ciclului de lucru la operații punctuale.

Scanned with OKEN Scanner

2) brațul deplasează scula într-o orientare constantă sau lent variabilă de-a lungul traiectoriei dorite, așteptînd în punctele definite pînă cînd scula își execută operația utilă.

Specificul operațiilor punctuale permite simplificarea modelelor de performanță generale incluse în metoda RTM.

Cînd se planifică o aplicație punctuală se cunosc următoarele date:

— lungimea traiectoriei de-a lungul căreia se execută operațiile punctuale;

— numărul de puncte pentru fiecare traiectorie;

— timpul de execuție a operației utile în fiecare punct;

— distanța de la un punct la altul;

— configurația generală a postului de lucru robotizat.

În cazul mișcărilor scurte o pondere importantă o au timpul de accelerare-decelerare și timpul de calcul necesar comenzii mișcării robotului.

Timpul total de efectuare a unei operații punctuale este

$$T = T_1 + T_2 \tag{9.5}$$

unde T_1 este timpul mișcărilor majore, T_2 timpul mișcărilor minore.

La rîndul lor, cei doi timpi se calculează cu formulele

$$T_1 = \sum_{j=1}^{m+1} t_{bj}; \quad T_2 = \sum_{j=1}^{m} \left[(n_j - 1)\, t_{mj} + \sum_{i=1}^{n_j} t_{pi,j} \right]$$
$$t_{mj} = M_{M_1}\left(\frac{L_j}{n_j - 1}, V \right) \tag{9.6}$$

unde i este numărul de puncte de-a lungul traiectoriei $j (i = 1, 2, \ldots, n_j)$, j numărul traiectoriei ($j = 0$ și $J = m + 1$ sînt traiectoriile de la și la poziția de parcare), L_j distanța totală între punctul $i = 1$ și punctul $i = n_j$ al traiectoriei j, m numărul de traiectorii, n_j numărul de puncte de-a lungul traiectoriei j, t_{bj} timpul de deplasare între traiectoria $j-1$ și j, t_{mj} timpul mediu de-a lungul traiectoriei j, $t_{pi,j}$ timpul de operare în punctul i al traiectoriei j, $T_{M_1}(L_j, V)$ timpul calculat în metoda RTM pentru mișcarea M_1, de lungime L_j și cu parametrii mișcării descriși în vectorul V.

Acest model simplu de calculare a timpului este folosit pentru estimări grosiere, studii de oportunitate și planificarea inițială a acțiunilor robotului.

Scanned with OKEN Scanner

9.3.2. ANALIZA COMPARATIVĂ A PERFORMANȚELOR ROBOȚILOR ÎN REALIZAREA SARCINILOR INDUSTRIALE, DINTR-O CELULĂ DE AUTOMATIZARE FLEXIBILĂ, FAȚĂ DE PERFORMANȚELE OPERATORILOR UMANI

Roboții industriali sînt deja o realitate a sistemelor moderne de producție (celule de automatizare flexibilă), numărul lor ridicîndu-se pe plan mondial la peste 30 000 bucăți.

Utilizarea senzorilor (vedere, forță, pipăit), care permit o funcționare în buclă închisă față de mediul de lucru și a capacității de decizie a calculatoarelor electronice permit folcsirea roboților într-o gamă din ce în ce mai largă de aplicații industriale. Pentru activitatea productivă a operatorilor umani au fost realizate metode de analiză a eficienței și de proiectare optimă a operațiilor productive. Același lucru trebuie realizat și pentru roboți (v. § 9.3).

Atenția trebuie concentrată asupra modului de integrare a roboților în mediile existente de fabricație, astfel încît să crească productivitatea sistemului de producție.

Întrebările firești care apar sînt: „Putem folcsi la roboți aceleași metode de analiză a eficienței ca și în cazul sistemelor de producție cu operatori umani?" sau „Putem folosi aceleași metode de proiectare a activităților productive pentru sisteme robotizate ca și pentru sisteme nerobotizate?"

Există diferențe fundamentale între capacitățile de lucru ale roboților și cele ale operatorilor umani și, în consecință, vor exista diferențe între metodele lor de lucru. Evident, experiența acumulată în analiza eficienței productive a activității umane trebuie folosită în proiectarea noilor metode de analiză utilizabile la sistemele robotizate. După cum s-a prezentat, metoda de analiză RTM a activității roboților a plecat de la metcda MTM folosită pentru operatori umani.

Din punct de vedere al îndeplinirii sarcinilor în aplicațiile robotizate se pot distinge șase caracteristici de bază ale robotului: spațiul de lucru, acționarea, poziționarea, orientarea, sistemul senzorial, capacitatea de decizie.

Pentru ilustrarea analizei ce va fi făcută în continuare se vor folosi pentru exemplificare datele reale ale robotului construit la Universitatea Stanford (S.U.A.) (Robot SA) [92].

Spațiul de lucru. Spațiul de lucru al robotului se definește ca reprezentînd spațiul în care el poate executa totalitatea mișcărilor cu care a fcst programat.

Un robot poate atinge obiecte și din afara spațiului său de lucru, dar numai în anumite orientări particulare neputînd realiza orice miș-

Scanned with OKEN Scanner

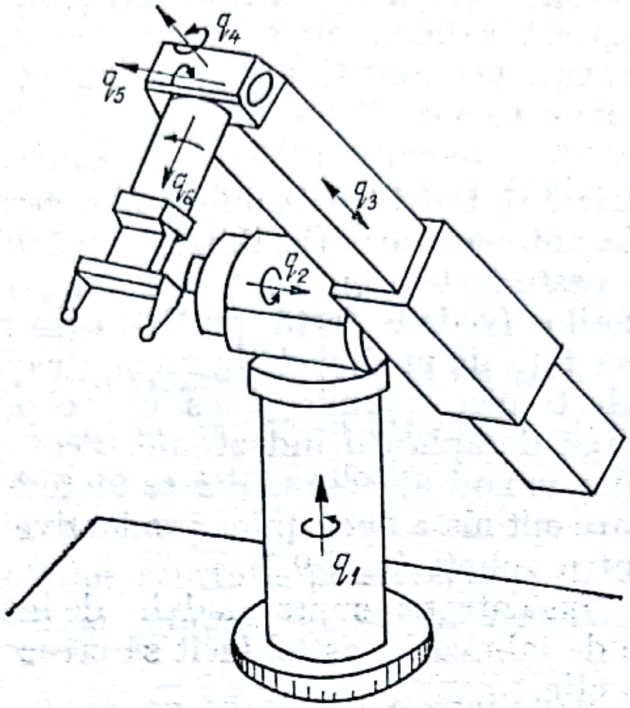


Fig. 9.22. Structura mecanică a robotului SA.

care programată (v. §2.1). Pentru robotul SA din figura 9.22 spațiul de lucru este o sferă cu raza de 25 cm. Structura mecanică este formată prin înserierea a șase cuple cinematice, cinci de rotație și una de translație.

Obiectele pot fi localizate oriunde în spațiul de lucru. Trei grade de libertate poziționează mîna robotului deasupra obiectului. Direcția din care mîna robotului se apropie de obiect precum și orientarea mîinii față de această direcție se stabilesc de următoarele trei grade de libertate.

Obiectele pot fi apucate de mîna robotului din orice direcție: lateral de deasupra, de dedesupt.

Acționare. Acționarea reprezintă capacitatea robotului de a realiza o mișcare specificată. De exemplu, robotul SA este acționat independent de motoare electrice pe fiecare grad de libertate, iar mișcarea de la motor la articulație este transmisă prin reductoare armonice.

Brațul mecanic a fost proiectat să manipuleze sarcini pînă la 3 kg, în interiorul spațiului de lucru, într-un timp mai mic de patru secunde. Caracteristicile de acționare ale robotului SA sînt prezentate în tabelul 9.1

Poziționare. Poziționarea reprezintă capacitatea robotului de a se deplasa la un punct impus din spațiul de lucru. Ea se măsoară prin două atribute: precizie absolută și repetabilitate.

Tabelul 9.1

Caracteristicile de acționare ale robotului SA

Articulație nr.	Cuplul maxim în articulație [N·m]	Deplasarea ralizată în 1/60 s
1	85	20 + 0,5 (grade)
2	85	20 + 0,5 (grade
3	100	20 + 2 (cm)
4	8	20 + 0,2 (grade)
5	8	20 + 0,2 (grade)
6	4	20 + 0,4 (grade)

Precizia absolută se definește ca eroarea cu care se stinge fiecare coordonată, care definește poziția punctului dorit.

Repetabilitatea se definește ca eroarea de atingere a unei poziții vizitate în prealabil de robot în spațiul de lucru.

Pentru robotul SA precizia absolută de poziționare este $\pm$ 0,5 cm, iar repetabilitatea $\pm$ 0,05 cm.

Citind cu ajutorul traductoarelor de poziție configurația robotului, se poate calcula — folosind modelul geometric direct — poziția și orientarea mîinii robotului. De exemplu, poziția și orientarea unui obiect sînt determinate cu ajutorul unei camere TV.

Robotul poate poziționa mîna într-o plajă de $\pm$ 0,5 cm față de poziția citită. Un al doilea obiect se poate poziționa peste primul într-o plajă de $\pm$ 0,05 cm (repetabilitatea).

Orientare. Orientarea este capacitatea robotului de a direcționa mîna în spațiu, pentru a apuca un obiect.

Similar cu orientarea se definește o eroare absolută și o repetabilitate. Pentru robotul SA eroarea absolută de orientare este $\pm$ 2°, iar repetabilitatea de $\pm$ 0,1°.

Sistemul senzorial. Capacitatea senzorială reprezintă posibilitatea robotului de a prelucra date despre mediul exterior de lucru. Datele pot fi achiziționate prin senzori de forță, tactili, de proximitate, vedere artificială etc.

Informația de forță și cea tactilă realizează un comportament de acomodare a robotului în cadrul mișcărilor de contact. În acest caz, sistemul de comandă modifică poziția și orientarea mîinii robotului (aflată în contact cu alte obiecte), astfel încît se minimizează (sau ia o valoarea prescrisă) torsorul forțelor exterioare care acționează asupra mîinii.

În aplicațiile de asamblare mecanică (cum ar fi operațiile de inserare), apar restricții geometrice. Pentru sisteme de comandă în poziție,

Scanned with OKEN Scanner

aceste restricții se transformă în forțe exterioare care acționează asupra robotului, care devin mărimi de referință pentru un sistem de comandă hibrid (poziție plus forță).

Sistemul de decizie. Decizia este capacitatea robotului de a selecta o succesiune de acțiuni, dintr-o varietate de alternative, funcție de informația senzorială și cea de comandă.

De exemplu, o formă simplă de decizie apare cînd prezența obiectului în mîna robotului este dedusă funcție de distanța dintre degetele mîinii.

Un exemplu mai complicat de decizie apare cînd obiectele de manipulat sînt codificate și, funcție de codul citit pe ele, robotul hotărăște cum să le sorteze, asambleze sau manipuleze.

Comparație între performanțele în operare ale robotului și operatorului uman. Robotul și operatorul uman diferă foarte mult, începînd de la capacitatea de manipulare și terminînd cu inteligența și nevoile sociale. Față de aplicațiile industriale se pot pune în evidență următoarele diferențe: operatorul uman posedă o mulțime de îndemînări acumulate și subconștiente; roboții pot fi construiți fără diferențe individuale între ei; caracteristicile robotului pot fi optimizate pentru o anumită aplicație industrială; roboții nu sînt afectați de efecte psihologice și sociale; pentru operatorii umani instruirea și reinstruirea este mult mai dificilă. Pentru a pune în evidență diferența între operațiile efectuate de oameni față de cele efectuate de roboți, multe lucrări de specialitate [92, 65, 87] pleacă de la metoda de măsurare a timpilor necesari diferitelor operații elementare, executate de operatori umani (MTM). Aceste metode dau tabele cu timpii necesari pentru operații elementare, cum ar fi: mișcarea mîinii stîngi, drepte, a ochilor, a corpului, a picioarelor, ajungerea la un obiect, apucarea obiectului, transportul obiectului etc. Deoarece timpii unor operații elementare sînt foarte mici, valorile din tablele sînt date în unități convenționale de timp (UCT) (o unitate fiind 0,036 s).

Folosind aceste tabele se poate calcula timpul total necesar efectuării unei operații industriale de către operatorul uman sau robot.

De asemenea se specifică dacă mîna dreaptă și stîngă pot să lucreze simultan, se poate analiza complexitatea operațiilor, alternativele în rezolvarea unor operații industriale etc.

În continuare se vor compara diferite operații elementare din punct de vedere al execuției cu robotul sau cu ajutorul operatorului uman.

Ajungerea la un obiect. Sînt mai multe acțiuni elementare care descriu mișcarea unei mîini goale pînă în apropierea unui obiect, aflat în diferite situații (tabelul 9.2).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.2

Operațiunile elementelor ale mișcării unei mîini

Cod operație	Descrierea operației efectuate de operatorul uman	Operația echivalentă efectuată de robot
A01	Ajungerea la un obiect aflat într-o locație fixă, sau aflat în cealaltă mînă sau pe suportul pe care se află cealaltă mînă.	Mută organul de execuție al robotului la o poziție și orientare prescrisă
A02	Ajungerea la un obiect care poate varia puțin de la un ciclu al operației la ciclul următor.	Mută mîna robotului într-o poziție în apropierea obiectului. Stabilește poziția și orientarea mîinii în funcție de informația senzorială (forță, tactilă)
A03	Ajungerea la un obiect aflat într-un grup de obiecte (amestecat cu alte obiecte). Sînt necesare operații de căutare și selecție	Operația este foarte greu de efectuat cu robotul industrial.
A04	Ajungerea la un obiect foarte mic sau la un obiect care necesită o apucare foarte precisă.	Mută mîna robotului într-o poziție din apropierea obiectului. Stabilește poziția cu ajutorul vederii artificiale. Corectează poziția cu ajutorul informației de forță sau tactilă.
A05	Deplasează mîna într-o poziție nedefinită pentru a elibera locul, sau a pregăti o nouă acțiune.	Execută o mișcare la o poziție nedefinită pentru a elibera locul

De exemplu, operația elementară A01 se poate programa (într-un limbaj de programare a roboților) în felul următor:

```
MOVE A          ; Deplasează robotul către poziția A
UNTIL ERROR     ; Robotul se oprește în punctul A cînd erorile de poziție și viteză sînt mai mici decît un set de valori impuse.
```

Pentru descrierea programelor robot din acest paragraf se folosesc următoarele instrucțiuni: MOVE — deplasare robot; UNTIL ERROR — oprire pe condiție de eroare de poziție; UNTIL FORCE $X = a$ — oprire pe condiție de forță; COMPLY FORCE $x = a$ AND $y = b$ — execută o mișcare de contact asigurînd componentele $F_x = a$ și $F_y = b$; BEGIN — început de acțiune; END — sfîrșit de acțiune; CLOSE RF/LF — închide degetul drept/stîng al mîinii robotului; READ (VISION A) — citește cu ajutorul camerei TV poziția și orientarea obiectului din locația A.

Operația A02 se programează astfel:

```
MOVE A1         ; Deplasează robotul în punctul A1 aflat în vecinătatea punctului A.
```

MOVE *A* ; Deplasează robotul în punctul *A* pînă cînd forța pe axa 2 = 27 N
UNTIL FORCE 2 = 27; iar pe axa $x = 10$ N
AND FORCE $x = 10$;

Operația A04 se poate programa în felul următor:

MOVE *A* ; Execuția unei operații A01
UNTIL ERROR ;
READ (VISION,A); Citește cu ajutorul camerei TV poziția și orientarea obiectului aflat în punctul *A*
MOVE *A* ; Deplasează mîna în *A*
UNTIL FORCE 2 = 20; pînă cînd forța pe axa *z* atinge valoarea de 20 N.

În tabelul 9.3 se prezintă comparativ operațiile A01 și A02 efectuate de robotul SA și de operatorul uman.

Tabelul 9.3

Comparație între operații efectuate de operatorul uman și robotul SA

Cine execută	Distanța [cm]	Cod operație A01 (UCT)	Cod operație A02 (UCT)
Operator uman	1	2	2
	30	9,6	12,9
	100	17,5	25,8
Robot SA	1	18,5	38,5
	30	20,5	40,5
	100	28	48
Diferența de unități timp	1	16,5	36,5
	30	10,9	27,6
	100	11	22,2

Din analiza tabelului rezultă că robotul SA execută mai lent operațiile A01 și A02 decît operatorul uman.

Operații elementare de deplasare. Aceste operații cuprind deplasarea obiectelor în diferite condiții. În tabelul 9.4 sînt descrise tipuri de deplasări și modul lor de execuție de către robot.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.4

Tipuri de deplasări ale obiectelor

Cod operație	Descrierea operației efectuate de operatorul uman	Operația echivalentă efectuată de robot
D1	Deplasarea unui obiect spre mina cealaltă sau pînă la un opritor.	Mută obiectul pînă la o poziție i orientare apropiată de cea fina ă. Deplasarea finală se execută sub controlul forței sau a sistemului de vedere
D2	Deplasează un obiect la o locație aproximativă sau nedefinită.	Deplasează obiectul la o poziție și orientare dată cu o accelerație/ decelerație impusă
D3	Deplasează obiectul la o locație precisă.	Acțiuni identice cu cele pentru efectuarea lui D1

De exemplu, operația D2 se poate programa pentru robot ca o succesiune de trei mișcări. De la A la A_1 cu o accelerație impusă, apoi cu accelerație zero pînă la poziția B_1. În final, de la B_1 la B cu o decelerație dorită.

```
BEGIN          ; Începe operația D2
MOVE A1        ; Execută mișcarea accelerată;
MOVE B2        ; Execută mișcarea cu viteză constantă.
MOVE B           Execută mișcarea decelerată
UNTIL ERROR; Condiția de oprire a robotului
END            ; Sfîrșitul operației D2.
```

Deoarece brațul este încărcat cu obiectul manipulat, timpii de execuție a diferitelor mișcări (funcție de lungimea spațiului parcurs) se ponderează cu coeficienți care depind de sarcina manipulată.

Operațiile elementare de tipul D1 sau D3 pot fi programate astfel:

```
BEGIN          ; Început operație
MOVE A1        ; Mișcare accelerată de la A la A1;
MOVE B1        ; Mișcare cu viteză constantă (A1 — B1)
MOVE B1        ; Mișcare decelerată pînă la B1,
               ; poziție aflată în apropierea lui B.
MOVE B         ; Deplasare finală în punctul
UNTIL FORCE z = 27; pînă cînd forța pe z = 27
MOVE B         ; și cea pe x = 30
UNTIL FORCE x = 30;
END
```


Scanned with OKEN Scanner

Robotul fiind calibrat în mod absolut (față de un sistem de referință fix în celula de automatizare flexibilă) el poate executa mișcări spațiale descrise în mod absolut (de exemplu: deplasarea aparatului de sudură într-o poziție și orientare descrisă față de sistemul de referință fix).

Operatorul uman nu poate executa mișcări descrise în mod absolut față de un reper de coordonate fix atașat celulei de producție.

Oricum performanțele umane sînt superioare celor ale robotului și la această categorie de operații elementare. De exemplu, deplasarea unei sarcini de 2 kg pe o distanță de 50 cm, care include 10 cm pentru accelerare și 10 cm pentru deccelerare, operatorul uman o execută în 19,3 (UCT), iar robotul SA în 80 (UCT).

În general, performanțele de deplasare a roboților sînt aproximativ 25% din performanțele realizate de operatorii umani.

Operații elementare de apucare a obiectelor. Operația de apucare are ca efect prinderea obiectului în mîna robotului. În general, roboții nu pot executa operațiile de apucare care cer folosirea datelor (dexteritate manifestată la nivelul degetelor). Operații elementare de apucare și acțiunile echivalente executate de robot sînt prezentate în tabelul 9.5.

Tabelul 9.5

Operații elementare de apucare a obiectelor

Cod operație	Descrierea operației efectuate de operatorul uman	Operația echivalentă efectuată de robot
AP1	Prinde în mînă obiecte mici, medii sau mari, ușor de apucat	Închide mîna robotului
AP2	Apucă obiecte foarte mici sau obiecte care sînt așezate în apropierea altor obiecte pe o suprafață plană	Localizează obiectul folosind informație de forță sau tactilă, închide mîna robotului
AP3	Reorientarea obiectului aflat în mînă	Imposibil de executat pentru robot
AP4	Transferul obiectului dintr-o mînă în alta	Se poate executa numai de roboți cu mîini multiple
AP5	Apucarea unui obiect aflat într-o grupă de obiecte	Robotul execută o operație de căutare, selectare și apoi prindere
AP6	Apucarea unor obiecte aflate în mișcare	Urmărirea obiectului în mișcare și închiderea mîinii
AP7	Prinderea unui obiect în vederea măsurării dimensiunilor sale geometrice. Această operație este imposibil de realizat de către operatorul uman.	Închiderea mîinii cu măsurarea distanței dintre degete

Scanned with OKEN Scanner

Pentru exemplificare se va prezenta programul operației elementare AP1:

```
CLOSE LF UNTIL FORCE = 10; Închide degetul stîng pînă cînd
                           forța măsurată este de 10 N
CLOSE RF UNTIL FORCE = 10; Închide degetul drept pînă cînd
                           forța măsurată este de 10 N.
```

În cazul robotului SA, închiderea mîinii pe condiție de forță, pentru distanța variind între 0,5—15 cm, este cuprinsă între 3 și 125 (UCT).

Operații elementare de asamblare. În cadrul procesului de asamblare mecanică, operațiile cele mai dificile de executat cu robotul sînt cele de inserare.

Dificultățile depind de simetria sau asimetria obiectelor care se asamblează, de toleranțe, de orientările celor două obiecte în contact etc. Funcție de toleranțele celor două obiecte se pot pune în evidență: (1) inserări fără contact (între bolț și alezaj nu se produce contact); (2) inserări cu toleranțe largi, cînd forțele apărute datorită mișcării de contact au valori mici; (3) inserări exacte, cînd toleranțele sînt mici și forțele care apar datorită contactului au valori mari.

În primul caz, robotul poziționează bolțul în dreptul alezajului și apoi execută inserarea completă. În al doilea și în al treilea caz se inserează capătul bolțului în alezaj, se execută o realiniere a bolțului și în final la inserarea completă se mai poate corecta alinierea dintre axa bolțului și cea a alezajului funcție de forțele măsurate în mîna robotului. Pentru primul caz, comanda robotului se face numai în poziție (mișcarea este liberă, nu apare contactul între cele două obiecte).

În continuare, se prezintă programarea unei operații de inserare, care cuprinde fazele: poziționarea bolțului în contact cu deschiderea alezajului; inserarea vîrfului bolțului în alezaj și realinierea axei bolțului cu cea a alezajului; inserarea completă a bolțului în alezaj.

```
MOVE C          ; Poziționează bolțul în contact
UNTIL FORCE x = 10, y = 0, z = 10; cu marginea alezajului
MOVE A          ; Inserează parțial bolțul
UNTIL Z = 10; ; în alezaj și realiniază axa
COMPLEX FORCE z = 5, x = 5; bolțului cu cea a alezajului
MOVE B          ; Inserarea completă a
UNTIL ERROR; bolțului în alezaj
```

Timpul de realizare a unei operații de inserare este suma timpilor necesari execuției instrucțiunilor din secvența de program prezentată.

Și în aceste operații performanțele robotului sînt inferioare celor ale operatorilor umani. Diferențele majore între performanțele robotului față de cele ale omului se datoresc lipsei de dexteritate a robotului la

Scanned with OKEN Scanner

nivelul degetelor, capacității reduse de prelucrare a informației senzoriale (față de om), efectuării tuturor operațiilor numai cu un singur braț etc.

În general, pînă în prezent, performanțele roboților sînt mai scăzute decît cele ale operatorilor umani.

Eficiența economică prin folosirea roboților, în prezent, nu se bazează pe scurtarea timpului de execuție a operațiilor elementare, față de timpul corespunzător necesar operatorilor umani. Creșterea eficienței apare datorită eliminării pauzelor, măririi calității produselor prin eliminarea rebuturilor datorite oboselii, lucrului în trei schimburi etc.

9.4. SISTEME FLEXIBILE DE FABRICAȚIE PENTRU PIESE DE REVOLUȚIE

Sistemul Rota-FZ-200

Sistemul de fabricație Rota-FZ-200 a fost realizat de combinatul VEB „7 Octombrie" din R.D.G. și este destinat pieselor de revoluție de tipul roților dințate.

Se pot prelucra piese cu diametru exterior cuprinse între limitele $60 < \varnothing \leqslant 200$ mm; lățimea părții danturate cuprinsă între limitele 12 — 70 mm, lungimea piesei între 12 — 100 mm și modulul 1,5 — 4,5 mm. Capacitatea sistemului este de cca. 200 000 piese/an în loturi de cîte 30 — 40 piese.

Sistemul este conceput astfel încît permite să fie utilizat din punct de vedere al complexității, automatizării sau integrării, în trepte. Treapta superioară de exploatare reprezintă un subsistem, respectiv o „unitate tehnologică" care cuprinde mașina-unealtă, mecanismul de schimbare a pieselor, paletele cu o capacitate de 48 piese, un dispozitiv care asigură tactul procesului de execuție și care este prevăzut cu un comutator de cursă și tampon (poziționare piese pentru prelucrare), precum și panoul de comandă automată a elementelor menționate.

Din aceste subsisteme se pot constitui „sisteme parțiale", conținînd pînă la 8 „unități tehnologice".

Pe treapta superioară a integrării sînt îmbinate trei sisteme parțiale — două pentru operațiile de degroșare și unul pentru cele de finisare — și în final un tratament termic.

Într-un astfel de sistem se pot efectua 21 operații, care se realizează parțial cu aceleași mașini: strunjire, rectificare exterioară, inte-

Scanned with OKEN Scanner

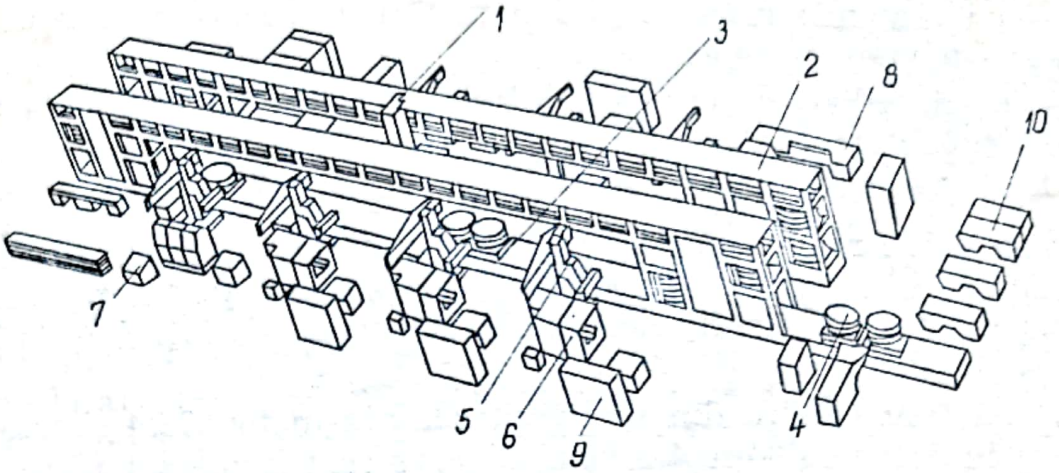


Fig. 9.23. Sistemul Rota-FZ-200;

1 — manipulator; *2* — memorie; *3* — dispozitiv de cadență; *4* — paletă; *5* — dispozitiv pentru schimbarea piesei; *6* — mașină-unealtă; *7* — panou de comandă a mașinii; *8* — panoul de comandă al sistemului; *9* — pupitru electric; *10* — centru de prelucrare a datelor.

rioară și plană, frezare, alezare, broșare, danturare, șebăruire, rotunjire dantură, debavurare, curățire.

O caracteristică principală a sistemului este aceea că folosește mașini-unelte de serie, prevăzute cu NC sau comandă secvențială. Adaptarea lui se realizează prin panourile de comandă.

În sistem sînt integrate trei strunguri cu comandă NC, două mașini de danturat, o mașină de șebăruit, o mașină de rotunjit dantură și o instalație de curățire.

Funcționarea unui astfel de sistem prezentat parțial în fig. 9.23 se realizează după cum urmează: paletele cu piese sînt preluate de către un elevator din magazin, funcționarea acestuia fiind dirijată cu ajutorul calculatorului. Elevatorul 1 funcționează ca un stivuitor și face legătura între locașele cu memorie ale magazinului 2 în care sînt introduse paletele portpiese 4 în ordinea prestabilită și dispozitivele de tact ale paletelor 3, proprii fiecărei mașini-unelte.

Amplasarea acestor dispozitive de tact se face în lungul magaziei și sînt prevăzute cu trei posturi, din care un post de așteptare în care sînt amplasate paletele pe care sînt așezate piesele ce urmează a fi prelucrate, un post ce conține paletele avînd piesele care se prelucrează și în dreptul căruia se găsește dispozitivul de schimbare piese 5 și un ultim post, cel pe care se găsesc paletele cu piese prelucrate. Comutatorul de cursă, în ritmul stabilit, aduce piesa care urmează a fi prelucrată de fiecare dată într-o poziție bine determinată.

Comanda funcționării sistemului poate fi realizată în trei variante după cum urmează:

Scanned with OKEN Scanner

— cu comandă manuală a funcționării elevatorului și a celorlalte elemente de manevrat piese;

— cu distribuirea comenzilor de la un panou de comandă a funcționării subsistemului;

— cu distribuirea comenzii de la un calculator de proces.

Sistemele firmei Monoforts. Sistemele de fabricație ale firmei „Monoforts Maschinenfabrik, Monochengladbach", sînt destinate prelucrării pieselor de revoluție de tip flanșă, capac, corpuri de roți dințate în serie mică sau mijlocie.

După cum rezultă din schița prezentată în fig. 9.24 sistemul este alcătuit în principal din 4 strunguri care se pot înlocui reciproc și o mașină orizontală de alezat și frezat.

Strungurile folosite „Monoforts NCA 300" sînt de tip frontal și sînt prevăzute cu cap revolver. Ele pot prelucra piese cu dimensiunile maxime de ∅ 300 mm în universal, platoul strungului fiind de 500 mm.

Cursele săniilor în difecțiile x, y sînt de 380 mm.

Schimbarea sculelor se realizează automat cu ajutorul unui sistem cu două capete revolver. În timp ce cu ajutorul sculelor dintr-un cap revolver se fac prelucrările, în celălalt cap revolver sînt introduse auto-

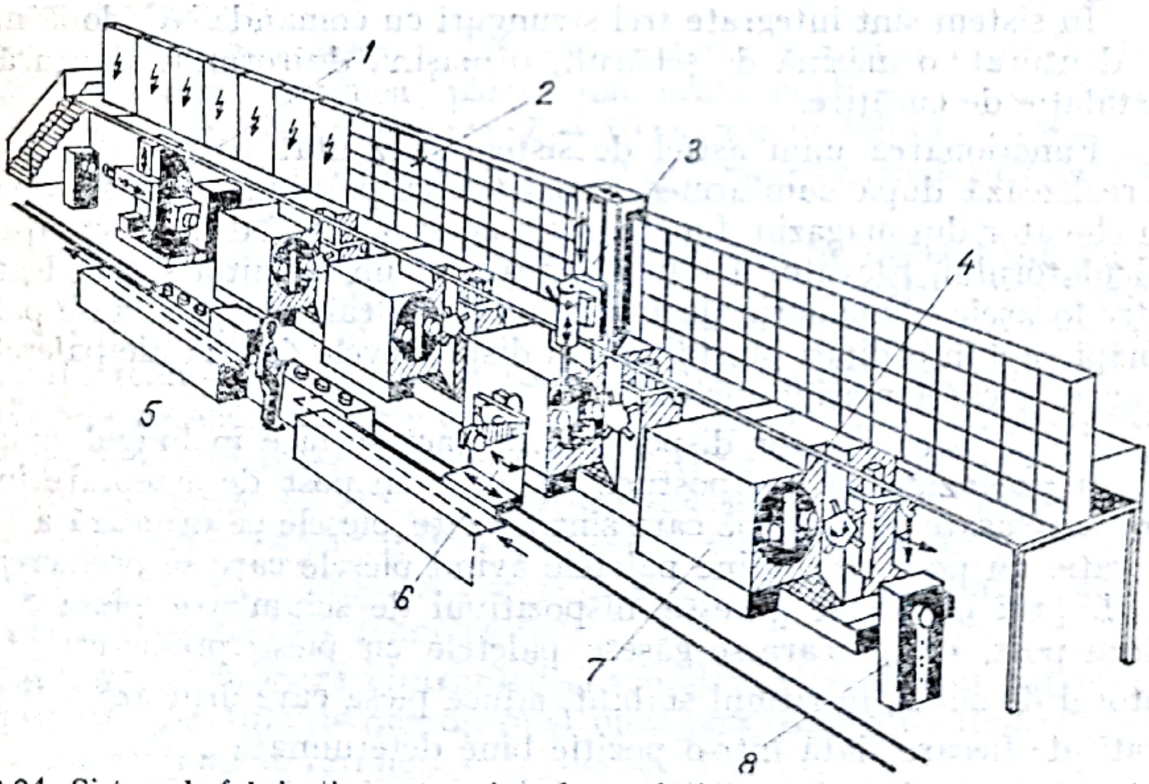


Fig. 9.24. Sistem de fabricație pentru piese de revoluție, prevăzut cu magazin de palete;
1 — mașină orizontală de alezat și frezat cu NC; *2* — magazin de palete; *3* — elevator; *4* — plansaibă; *5* — paletizare piese; *6* — cărucior deplasare palete; *7* — strung cu NC; *8* — stație de predare.

Scanned with OKEN Scanner

mat scule pentru operațiile următoare. Sistemul este rabatabil în sensul că permite inversarea poziției celor două capete revolver.

Strungurile sînt prevăzute cu platou rotativ, cu două posturi.

Într-unul din posturi se află mandrina cuplată la arborele principal, putîndu-se astfel executa prelucrarea primei piese, iar în celălalt post se află o mandrină în care se află fixată piesa care urmează a fi prelucrată.

După prelucrarea primei piese, postul în care se află mandrina piesei prelucrate este decuplat de arborele principal și platoul se rotește cu 180° inversînd pozițiile celor două mandrine. Noua mandrină este cuplată la arborele principal, iar din cealaltă mandrină se scoate paleta cu piesa prelucrată fiind înlocuită cu o paletă cu o piesă neprelucrată. Acest proces de schimbare durează 10 secunde.

În cadrul acestui sistem, fixarea pieselor pe palete se face manual în punctul 5 indicat pe schița de principiu. Din acest punct, paletele sînt transportate la mașinile-unelte cu ajutorul căruciorului 6 sau la posturile de capăt 8, de unde sînt preluate cu ajutorul elevatorului 3 și introduse în magazinul 2 în locașe cu identitate prestabilită. De la magazin, piesele paletizate pot fi aduse la diferite mașini-unelte existente în linie de fabricație.

Un inconvenient în cadrul acestui procedeu îl constituie faptul că fiecare paletă este prevăzută cu o identitate proprie, ceea ce complică oarecum memorizarea sistemului.

În vederea simplificării acestei situații firma Monoforts a realizat o nouă variantă a sistemului de fabricație pentru piese rotative, caracterizată de folosirea unor containere.

În această variantă, containerele sînt încărcate cu piese brute într-un spațiu separat, fiecare container avînd una din mandrine codificată pe fața opusă feței pe care sînt fixate piesele brute. Containerele fixate de un lanț au posibilitatea să circule în spațiul de lucru. Manipularea mandrinei și pieselor brute la și de la mașinile-unelte se face cu un sistem cu două mîini mecanice.

Prin urmare într-un container se găsește același tip de piese și o singură mandrină codificată care determină identitatea pieselor.

În timpul desfășurării programului de lucru, cînd se impune prelucrarea unui anumit tip de piesă, se identifică containerul ce conține piesele brute respective prin intermediul mandrinei purtătoare de informații. După identificare, containerul este amplasat în dreptul mașinii care va executa prelucrările. Mandrina, care pînă în acel moment a ajutat în procesul de căutare, este luată cu ajutorul unei mîini mecanice și fixată la arborele mașinii, după care servește ca sistem de prindere a pieselor din container în procesul de prelucrare.

Scanned with OKEN Scanner

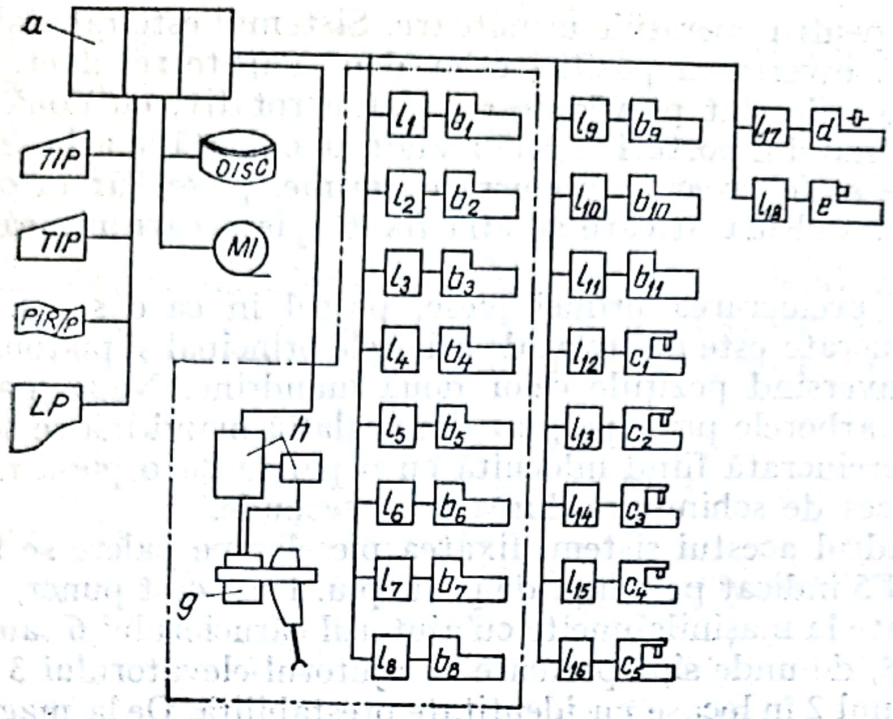


Fig. 9.25. Componența sistemului FANUC:
a — sistemul de comandă DNC FANUC-10; $b_1 \dots b_{11}$ — strunguri; $c_1 \dots c_5$ — mașini de frezat; *d* — mașină de rectificat; *e* — centru de prelucrare; $L_1 \dots L_{18}$ — comenzile mașinilor; *g* — robot; *h* — comanda robotului (NC-FANUC-R).

Manipularea pieselor la și de la mandrină după prelucrare se face cu ajutorul mîinilor mecanice.

Ambele sisteme descrise mai sus pot fi prevăzute cu calculatoare care comandă atît funcționarea sistemului, cît și fluxul de materiale.

Sistemul de fabricație FANUC. Sistemul de fabricație FANUC a fost conceput și realizat de către o firmă japoneză pentru prelucrarea pieselor de revoluție aparținînd motoarelor pas cu pas din fabricația proprie.

După cum rezultă din fig. 9.25 în cadrul sistemului sînt integrate 11 strunguri, 5 mașini de frezat, o mașină de rectificat și un centru de prelucrare.

Pentru 8 strunguri, amplasate liniar și la care ciclul de fabricație este scurt, manevrarea pieselor se realizează cu ajutorul unui robot tip UNIMATE care se deplasează de-a lungul unei șine fixate pe peretele halei, economisind în acest fel spațiu și reducînd riscul accidentărilor.

Sistemul de comandă realizat de firma FANUC este de tip DNC.

În figura 9.26 se prezintă schema părții din sistem în care sînt integrate cele 8 strunguri alimentate cu piese de către robot.

Brațul robotului este prevăzut cu o mînă „multiscop" ce manipulează piese de forme neregulate și dimensiuni diverse.

Scanned with OKEN Scanner

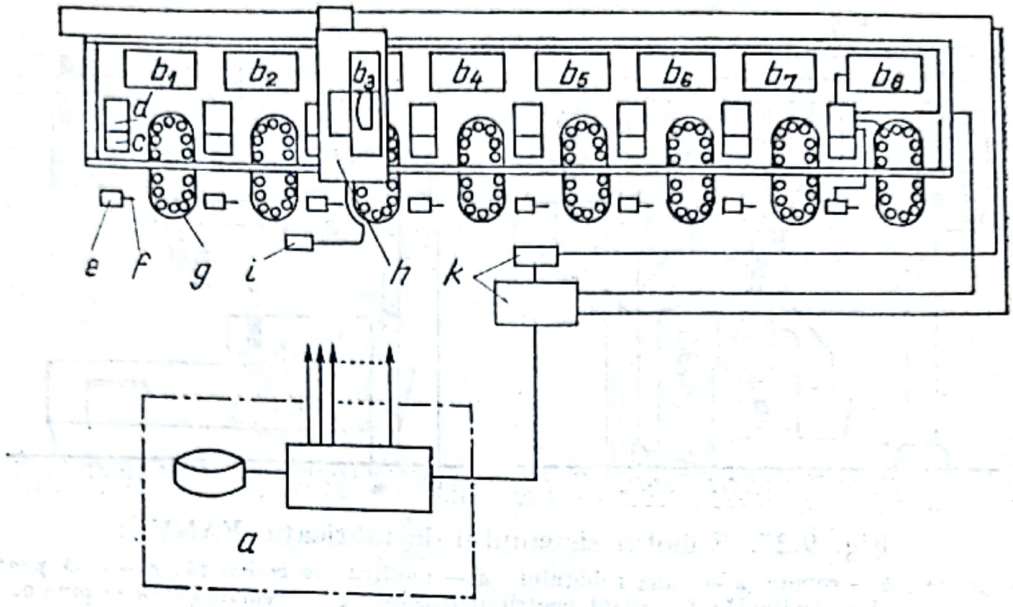


Fig. 9.26. Planul secțiunii sistemului FANUC prevăzut cu robot de alimentare cu piese:

a — comanda DNC a sistemului și legăturile la comenzile mașinilor; $b_1 \dots b_8$ — strunguri; *c* — *d* — comanda mașinilor-unelte; *e* — pupitru de comandă a robotului; *f* — barieră de protecție; *g* — transportor de piese; *h* — robot; *i* — depozit accesorii; *k* — comanda NC a robotului (FANUC-R.

Aducerea pieselor pe linia de deplasare a robotului și preluarea lor de la acesta se realizează cu ajutorul unui transportor propriu fiecărui strung.

Pentru operația de comandă a ciclului de schimbare a pieselor la întreg sistemul transportor—robot—mașină-unealtă, fiecare strung este dotat cu un pupitru de comandă, prin intermediul căruia operatorul poate scoate robotul din ciclu sau să regleze anumite erori de mișcare-funcționare.

În cele ce urmează vor fi descrise elementele principale care asigură buna funcționare a sistemului în care sînt integrate.

Robotul de deservire redat în fig. 9.27 este prevăzut cu comandă NC-FANUC-R legată de comanda DNC a sistemului și este realizat în construcție suspendată, deplasabil pe o șină longitudinală.

Panoul de comandă al robotului poate fi deplasat pe verticală în jos, permițînd operatorului ca atunci cînd acesta trece deasupra diferitelor panouri de comandă ale mașinilor deservite, să regleze robotul în funcție de ciclul de funcționare al fiecărui strung integrat în sistem, toate datele fiind introduse în memoria DNC.

După cum rezultă din fig. 9.28 robotul, inclusiv apucătorul său, dispune de 9 grade de libertate. Construcția mîinii sale permite preluarea unei game largi de piese cu forme, dimensiuni și greutăți diferite.

Scanned with OKEN Scanner

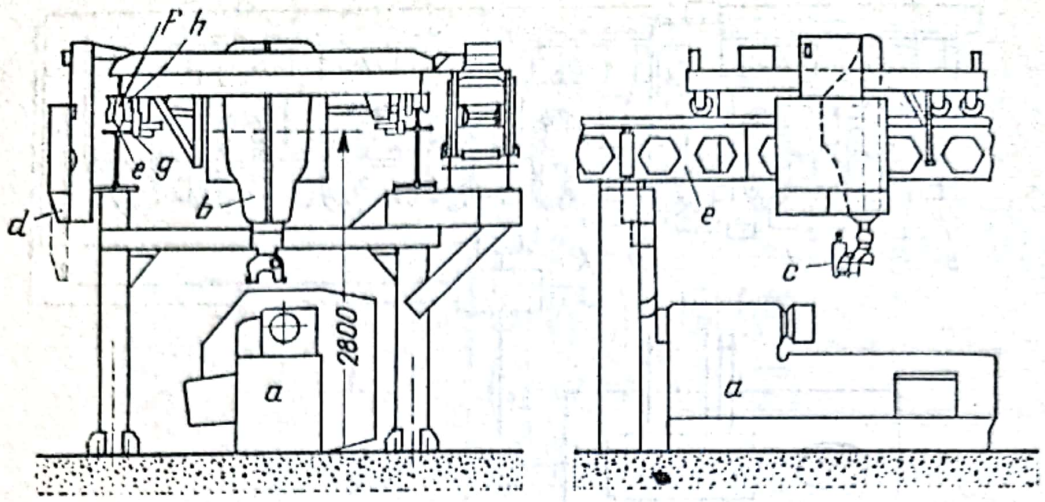


Fig. 9.27. Robotul sistemului de fabricație FANUC:

a — strung; *b* — robot; *c* — mîna robotului; *d* — pupitru de comandă; *e* — șină pentru deplasarea longitudinală; *f* — roată pentru deplasare; *g* — cremalieră; *h* — pinion.

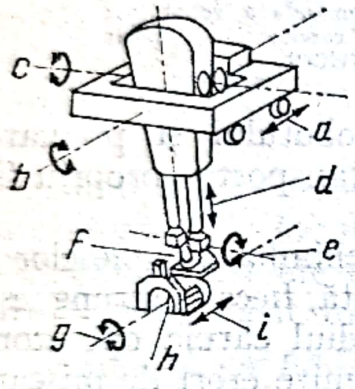


Fig. 9.28. Gradele de mobilitate ale robotului:

a — deplasarea longitudinală; *b* — rotirea brațului în jurul axei longitudinale; *c* — rotirea brațului în jurul axei transversale; *d* — mișcarea verticală a brațului; *e* — rotirea încheieturii mîinii în jurul axei verticale; *f* — rotirea încheieturii mîinii în jurul axei orizontale; *g* — rotirea mîinii; *h* — mișcarea de prindere; *i* — mișcarea de împingere.

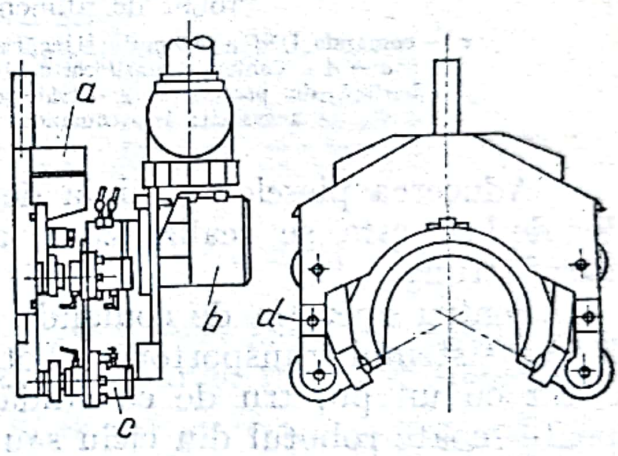


Fig. 9.29. Mîna mecanică:

a — mecanism cu trei degete; *b* — motor pas cu pas; *c* — mecanism de împingere; *d* — traductor de forță;

Mîna robotului, a cărei construcție este prezentată în fig. 9.29, dispune de următoarele posibilități de acțiune:

— poate să manevreze piese de dimensiuni cuprinse între ∅ 20 ... ... 210 mm avînd o greutate maximă de 20 kg;

— poate să se rotească în jurul axei unei piese de formă neregulată, în timp ce o strînge, evitînd, în condițiile spațiului redus, posibilitatea

Scanned with OKEN Scanner

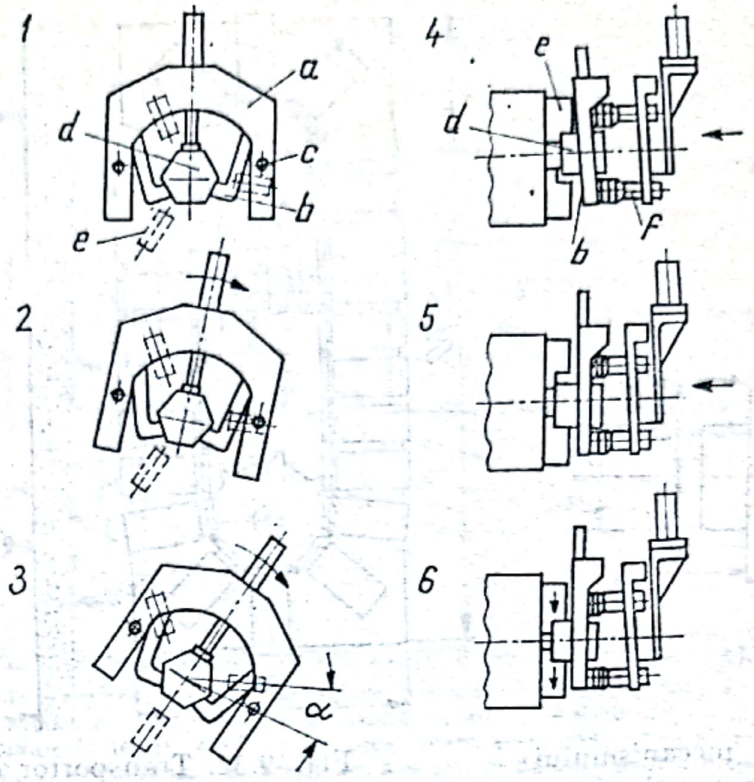


Fig. 9.30. Mișcările necesare prinderii unei piese de formă hexagonală:
a — mîna; *b* — deget; *c* — traductor; *d* — piesă; *f* — mecanism de împingere.

de lovire dintre mînă și strung sau dintre piesă și transportor. Acționarea mîinii se face cu ajutorul unui motor pas cu pas.

— determină poziția bavurilor de prindere a pieselor în universalul strungului, putîndu-se stabili poziția optimă de fixare a pieselor care au forme neregulate sau proeminențe în universal;

— realizează o împingere „flexibilă" care ușurează o prindere lină și precisă a pieselor în universalul strungului, chiar dacă axa pieselor și suprafața acestora nu corespunde cu axa și suprafața universalului în regiunea de așezare a pieselor.

În figura 9.30 sînt prezentate diferitele mișcări ale mîinii, necesare pentru prinderea de o anumită formă neregulată, respectiv hexagonală.

Pentru stabilirea relației între forțele necesare de împingere a pieselor cu simbolurile prevăzute în fig. 9.31 se scriu ecuațiile de moment față de punctele P și Q;

— momentul față de punctul inferior P

$$L_p G_p + L_M + G_M + F_2(a - r) < F_1(a + r); \tag{9.8}$$

— momentul față de punctul superior Q

$$L_p G_p + L_M G_M + F_2(a + r) > F_1(a - r). \tag{9.9}$$

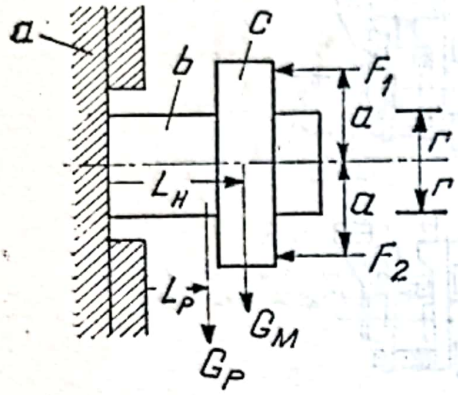


Fig. 9.31. Analiza mecanismului de împingere a pieselor:

a — universal de prindere; *b* — piesă; *c* — mîna robotului; F_1 — forța superioară de prindere; F_2 — forța inferioară de împingere; G_p — greutatea piesei; G_M — greutatea mîinii.

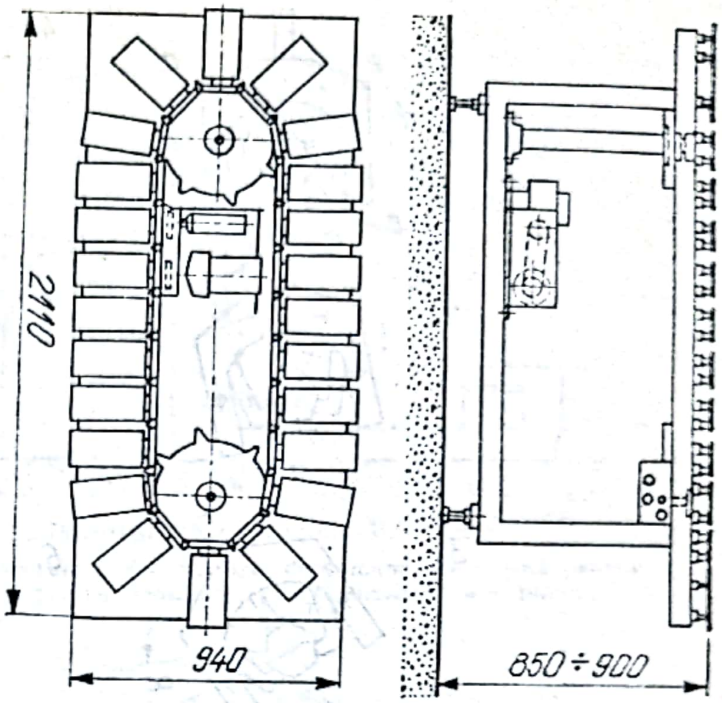


Fig. 9.32. Transportor de piese.

Valorile forțelor de împingere F_1 și F_2 sînt astfel alese încît ecuația derivată să fie îndeplinită pentru toate piesele care se manevrează

$$F_2\frac{a-r}{a+r}+\frac{L_pG_p+L_MG_M}{a+r}<F_1<F_2\frac{a+r}{a-r}+\frac{L_pG_p+L_MG_M}{a-r}. \quad (9.10)$$

Mecanismul de prindere ușurează prinderea în mandrină, obținîndu-se o abatere de maximum 0,01 mm.

Înclinația și excentricitatea ce pot fi preluate de către mecanismul de împingere au fost stabilite ținîndu-se seama de erorile de reglare ale robotului, de eroarea de poziționare, precum și de neregularitățile și forma suprafețelor de prindere a pieselor.

Echipamentul NC—FANUC—R a fost conceput și creat pentru comanda funcționării întregului ciclu de schimbare a pieselor cu ajutorul robotului fiind racordat la comanda DNC a întregului sistem de fabricație.

Transportoarele de piese (fig. 9.32) sînt amplasate în dreptul fiecărui strung, asigură alimentarea robotului cu piesele care trebuie prelucrate

Scanned with OKEN Scanner

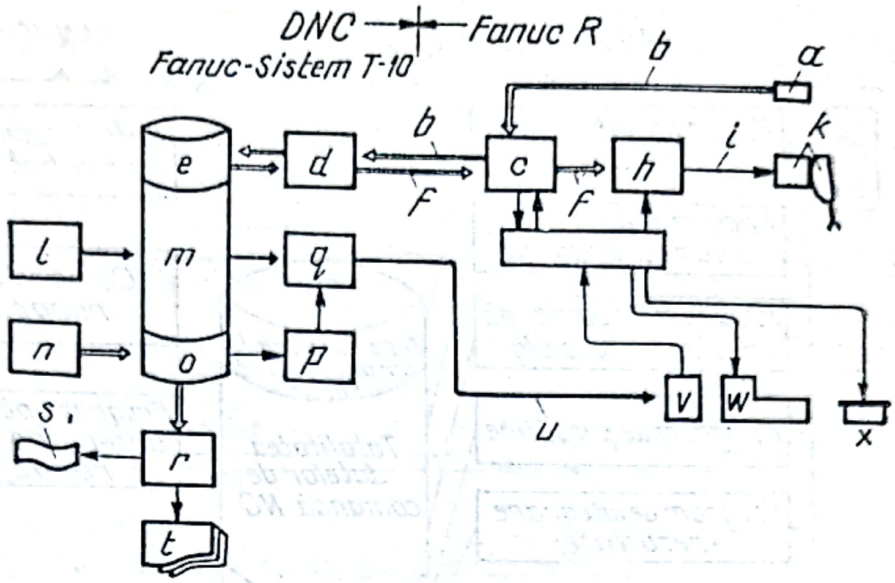


Fig. 9.33. Schema bloc de funcționare a sistemului de comandă:
a — unitate reglare; *b* — date de reglare; *c* — date comandă robot; *d* — interfață robot; *e* — program de comandă robot; *f* — date de comandă; *g* — program de deservire robot; *l* — programare automată; *m* — sistem de date NC; *n* — programare de pregătire; *o* — sistem de date pentru integrare plană; *p* — programul comenzii de desfășurare; *q* — program de comandă mașină; *r* — program integrare rezultat; *s* — cartele perforate rezultat; *t* — lista de rezultate; *u* — impulsuri comanda NC; *v* — comanda mașinilor-unelte; *w* — strung; *x* — transfer piese.

și preia de la acesta pe cele care au fost prelucrate. Ele sînt prevăzute cu 24 palete amplasate pe un lanț.

Coordonarea mișcărilor între robot și transportor se caracterizează prin aceea că după ce robotul depune o piesă prelucrată pe o paletă liberă, transportorul avansează cu un pas, aducînd în dreptul robotului piesa care urmează a fi prelucrată.

Funcțiile sistemului de comandă DNC sînt prezentate în fig. 9.33. Sistemul asigură automatizarea desfășurării prelucrărilor.

Posibilitățile echipamentului DNC (software) sînt împărțite în două grupe: una pentru sistemul FANUC—T—10 și cealaltă pentru FANUC—R.

Memoria înregistrată pe plăci magnetice conține trei grupe de date, după cum rezultă din schema bloc fig. 9.34:

1) date de comandă robot, întocmite automat prin procedeul de reglare (pot fi înregistrate 800 de date);

2) dată de comandă NC întocmite manual sau automat (pot fi înregistrate 1000 astfel de date);

3) date de integrare a rezultatelor relative la prelucrare și a planurilor temporale tehnologice.

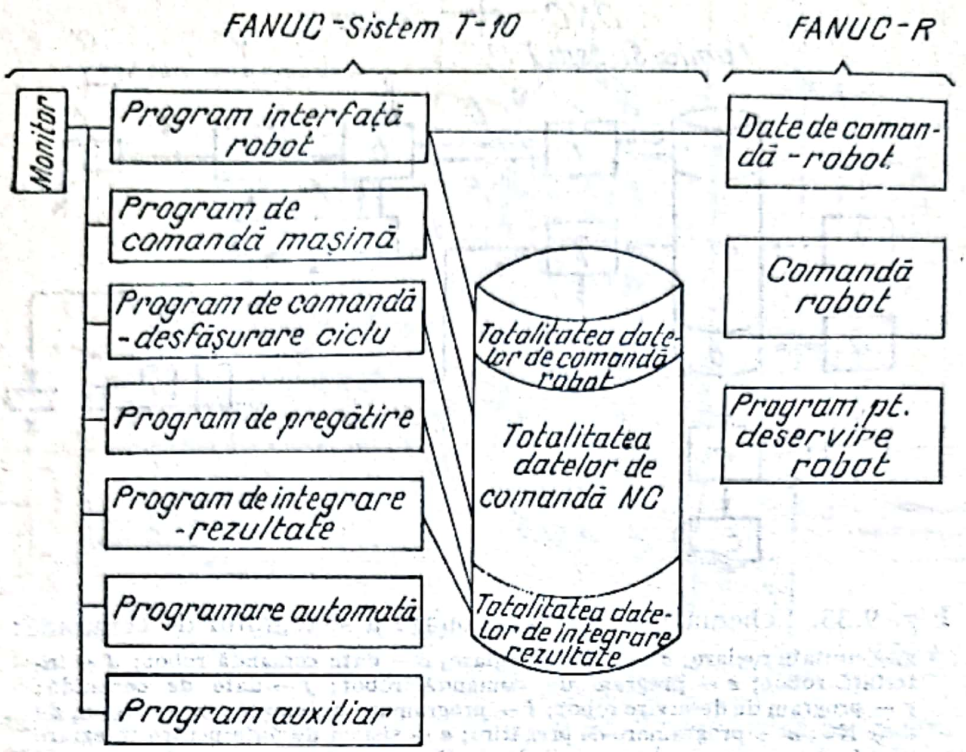


Fig. 9.34. Schema bloc a constituției Software.

Comanda funcționării robotului se realizează pe baza comenzilor intrate anterior, conform desfășurării prezentată în fig. 9.35, după cum urmează:

a) dacă prelucrarea unei piese se apropie de sfîrșit la unul dintre strunguri, se transmite un semnal și robotul se deplasează pe șină oprindu-se în dreptul mașinii de la care s-a emis semnalul;

b) la încheierea prelucrării, se decuplează arborele, se îndepărtează scula și panoul de protecție și robotul deplasează brațul aducînd mîna la universalul mașinii;

c) mîna realizează o mișcare de rotație pentru determinarea poziției bacurilor, urmată de prinderea piesei în poziția potrivită și deschiderea universalului strungului.

d) se scoate piesa prelucrată dintre bacuri și se depune pe paleta transportorului, în același timp fiind înlăturate automat și așchiile rămase pe universal;

e) o piesă neprelucrată este preluată de pe paleta următoare a transportorului și condusă în poziție de prindere în universal. Pentru stabilirea poziției bacurilor, mîna se rotește din nou, așezînd piese în poziția de prindere;

f) după constatarea prinderii piesei în universal, se retrag degetele de prindere ale mîinii în poziția de așteptare a unui nou semnal coman-

Scanned with OKEN Scanner

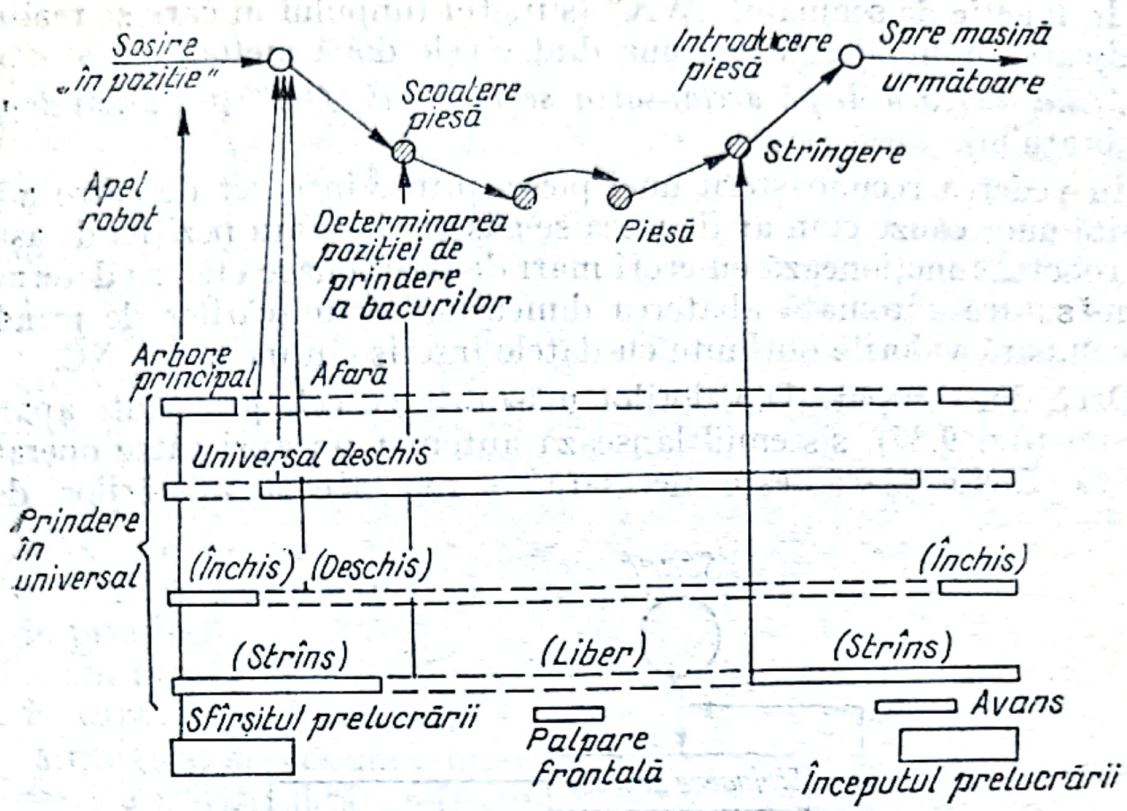


Fig. 9.35. Desfășurarea funcționării robotului.

dîndu-se începerea prelucrării la strungul care a fost alimentat cu o nouă piseă.

După cum rezultă din fig. 9.36 funcționarea brațului și mîinii se poate face în două moduri:

— funcționarea simultană cînd mîna lucrează concomitent cu brațul;

— funcționarea succesivă în situația în care mîna lucrează în starea de repaus a brațului, care — la rîndul său — intră în ciclul de mișcare după ce mîna și-a terminat mișcările.

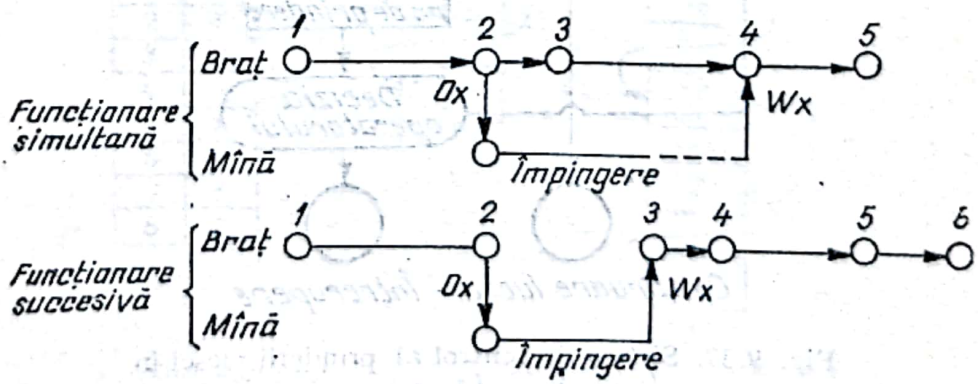


Fig. 9.36. Sistem de funcționare a brațului și a mîinii robotului.

În funcție de semnalul „WX" (sfîrșitul timpului în care se realizează mișcarea mîinii") se alege una dintre cele două metode.

Mîna lucrează după declanșarea semnalului „OX" (terminarea mișcării brațului).

În vederea recunoașterii unei piese, prinse incorect de către mînă, datorită unor cauze cum ar fi: piesa se găsește în afara poziției de așteptare, robotul funcționează cu erori mari de poziționare etc., se determină prin măsurare automată abaterea dimensiunilor mișcărilor de prindere și se compară valorile obținute cu datele înscrise în memoria NC.

Dacă din comparația valorilor măsurate cu cele prevăzute apare o diferență (fig. 9.37), sistemul lansează automat un apel către operator, care va decide dacă este necesară o repetare a mișcărilor după

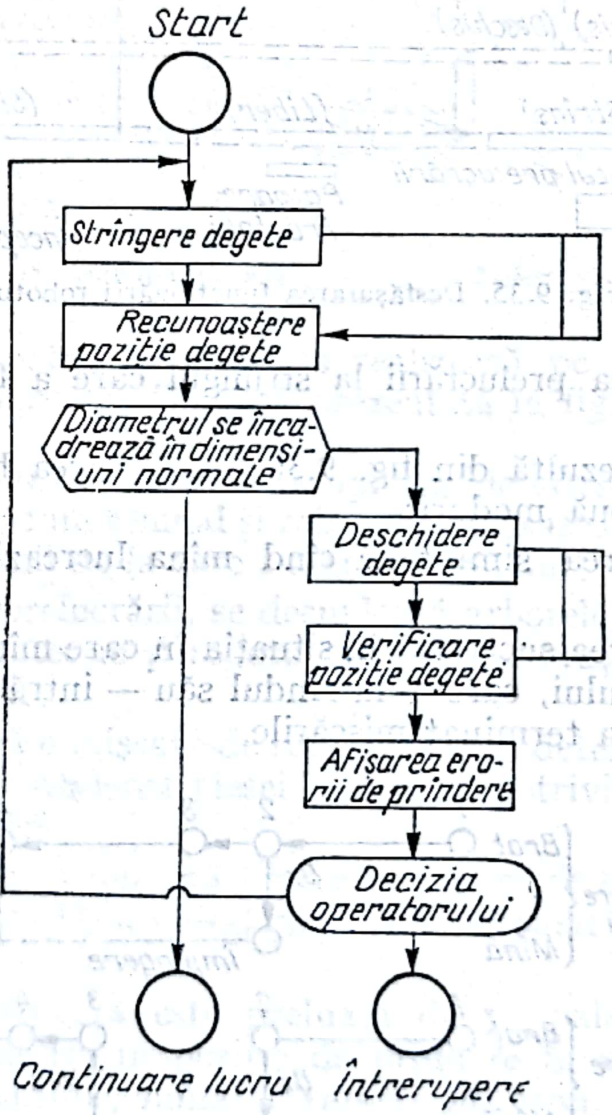


Fig. 9.37. Sistem de control al prinderii piesei în mîna robotului.

Scanned with OKEN Scanner

introducerea corecțiilor sau se lasă să se continue mai departe ciclul de schimbare piesă fără corecții.

Robotul alimentează strungurile cu piese într-o succesiune comandată de sistemul NC—FANUC—R.

Semnalele pentru anularea sau acționarea mișcărilor robotului sînt „Apelul robotului", care se declanșează prin apăsarea butonului de apel de pe pupitrul de comandă al robotului și semnalul „Apropierea sfîrșitului", care se realizează automat în momentul cînd se apropie de încheiere procesul de prelucrare.

În momentul în care echipamentul NC—FANUC—R recepționează semnalul „Apropiere sfîrșit", repartizează, în succesiunea semnalelor primite, prioritățile de alimentare cu piese a strungurilor corespunzător indicațiilor memorate într-un tabel conform fig. 9.38.

Robotul începe alimentarea cu piese la mașina care are cel mai înalt grad de prioritate.

Pentru fiecare mașină există trei trepte de prioritate: 0, 1 și 2. În cazul în care intervin concomitent cerințe de aprovizionare de la mai multe strunguri, succesiunea priorităților va servi la stabilirea mașinii care va fi aprovizionată preferențial. Semnificația acestor trepte este următoarea: treapta 0 — nu cere aprovizionare, treptele 1 și 2 cer aprovizionare, însă treapta 2 are prioritate față de treapta 1.

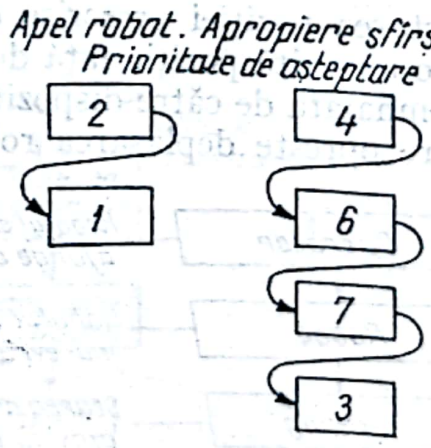
Pe baza acestui sistem, de exemplu, aprovizionarea la mașinile 2 și 3 se realizează în felul următor:

1) anularea mișcărilor robotului prin „Apel robot";

2) aducerea robotului în dreptul strungului 3 cu treapta de prioritate 2 prin „Apropierea sfîrșitului" și în continuare aprovizionarea cu o nouă piesă;

Tabel cu priorități

Nr. mag.	Treapta
1	1
2	1
3	2
4	2
5	1
6	0
7	1
8	2



Succesiunea alimentării 2 1 4 3 7

Fig. 9.38. Sistem de alimentare cu piese.

Scanned with OKEN Scanner

3) aducerea robotului în dreptul strungului 1 prin „Apropierea sfîrșitului" și executarea în continuare a aprovizionării cu piese.

Dacă apar mai multe mașini cu aceeași treaptă de prioritate, succesiunea aprovizionării se face după succesiunea primirii în timp a semnalelor.

Așa cum s-a mai arătat înainte, datele de comandă sînt integrate în memoria calculatorului prin reglarea manuală a ciclului și pozițiilor de lucru ale robotului și mișcărilor elementelor de prindere a pieselor și al ecranului de protecție a strungului.

Memorarea datelor se face prin ordinul „Înregistrare" la fiecare mișcare a elementelor menționate mai sus.

În cazul depistării unor erori se pot face modificările corespunzătoare în memoria înregistrată inițial.

Regulile de siguranță, atît pentru operator cît și pentru robot, în sistemul FANUC, sînt prezentate în fig. 9.39.

Dintre măsurile de siguranță mai importante menționăm următoarele:

a) La intrarea în pasajul de trecere al operatorului se află un sistem de siguranță de forma unui cadru. La împingerea acestui cadru de către operator, pentru a putea intra în pasaj, se emite un semnal la comanda căruia în fața robotului este adus ecranul de protecție cu care este prevăzut fiecare strung la care aprovizionarea cu piese se face cu ajutorul robotului.

b) Fiecare pupitru de siguranță al mașinilor deservite de robot, este înzestrat cu o barieră de protecție care permite apropierea de mașină numai dacă este lăsată în jos și menținută în această poziție. În această situație se emite un semnal care interzice efectuarea oricărei mișcări de către robot.

c) Nerespectarea poziției prescrise de către brațul robotului, care trebuie să aibă o anumită poziție față de mînă în timpul mișcării longitudinale, este semnalată de către dispozitivul de siguranță prin emiterea unui semnal care oprește deplasarea robotului.

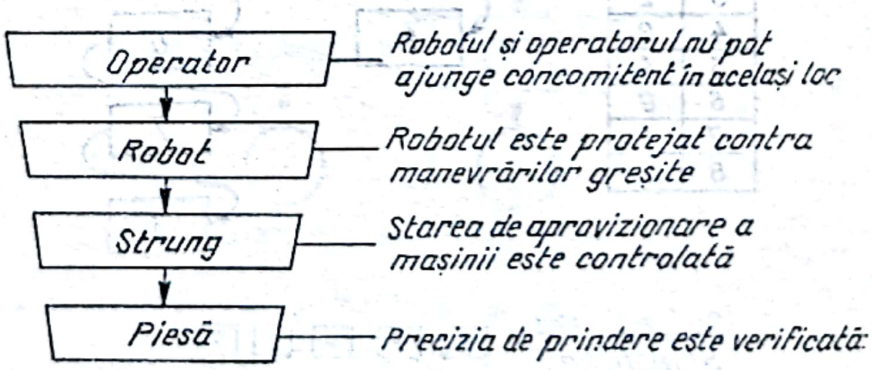


Fig. 9.39. Reguli de siguranță în sistemul FANUC.

Scanned with OKEN Scanner

d) Încheietura mîinii este de asemenea asigurată de către un dispozitiv de siguranță care, în eventualitatea lovirii mîinii de un element integrat în sistemul de fabricație, rupe încheietura, iar robotul se oprește automat.

e) Asemenea sportivilor înaintea începerii competiției, robotul înainte de începerea programului zilnic de lucru efectuează o „încălzire" prin executarea a cîtorva funcționări în gol.

Funcțiile NC ale sistemului de comandă DNC sînt în principiu aceleași ca și în cazul comenzilor individuale NC, cu diferența că unele dintre ele sînt luate de software.

Fiecare mașină integrată în sistem este prevăzută cu comandă proprie, privind impulsurile de „ordin" de la calculator.

Software emite impulsurile generale de funcționare, în continuare fiind emise simultan, către mașinile-unelte integrate în sistem, impulsurile de detaliu, necesare programului de funcționare. Datele necesare pentru „ordinele" NC sînt memorate pe plăci magnetice.

După cum rezultă și din fig. 9.40 exploatarea echipamentului se realizează folosind metoda dialogului direct, cu elementele integrate în sistem.

Operatorul poate înmagazina un program parțial folosind o mașină de scris specială. Erorile pe care le constată în desene, documentație tehnologică sau în alte documente referitoare la procesul de prelucrare, pot fi corectate pe loc. Datele de ordin NC sînt introduse în memoria DNC.

Sistemul DNC poate lucra în două moduri: în regim de „plan de timp" și în regim de „plan zilnic".

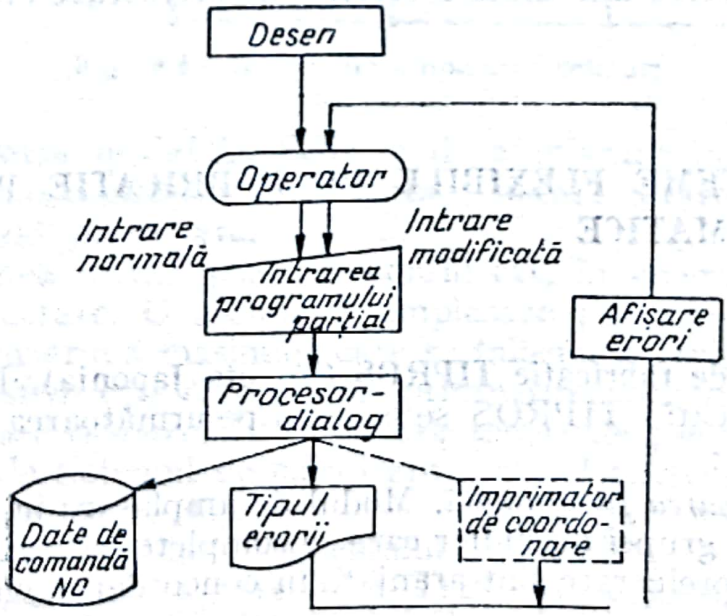


Fig. 9.40. Utilizarea comenzii DNC în sistem dialog.

Scanned with OKEN Scanner

Cînd se folosește sistemul de lucru în regim de „plan de timp", în memoria DNC se introduc planurile de lucru prestabilite pentru fiecare mașină-unealtă integrată.

Cînd se lucrează în regim de „plan zilnic", planurile de desfășurare a fabricației sînt întocmite automat de sistemul DNC. Prin această metodă se integrează aproximativ numărul de persoană/oră pentru fiecare mașină-unealtă, pe baza termenelor de execuție și a ordinei de prioritate stabilită pentru execuția pieselor. În acest scop DNC întocmește o listă de timp și o listă de operații, iar la terminarea prelucrărilor, datele pentru mașinile-unelte utilizate și lotul de piese realizat sînt integrate automat în memorie.

Considerații privind exploatarea sistemului. După cum s-a arătat la început, sistemul FANUC este destinat prelucrării părților componente ale motoarelor pas cu pas, în limite de toleranță strînse, de 0,01—0,02 mm.

Comparativ cu fabricația convențională, la care pentru prinderea și scoaterea pieselor erau folosiți patru operatori, sistemul FANUC este deservit numai de un singur operator care realizează următoarele operații: supravegherea funcționării sistemului, alimentarea sistemului cu piese brute și preluarea pieselor prelucrate; controlul pieselor prelucrate și reglarea sculelor. Mai mult, în timpul pauzelor reglementare pentru personalul muncitor, sistemul poate funcționa nesupravegheat.

Ca în cazul oricărui sistem flexibil bine conceput, sistemul FANUC este astfel realizat încît i se pot integra ulterior și diferite alte funcții, cum ar fi: controlul automat al pieselor prelucrate, reglarea automată a sculelor, depistarea automată a erorilor de prelucrare etc.

9.5. SISTEME FLEXIBILE DE FABRICAȚIE PENTRU PIESE PRISMATICE

Sistemele de fabricație TIPROS (Toyota-Japonia). Realizarea sistemelor de fabricație TIPROS se bazează pe următoarea teorie a amplasării mașinilor:

a) *Amplasarea funcțională.* Modul de amplasare în această concepție corespunde grupei mașinilor care se completează (fig. 9.41). În acest caz zonele de prelucrare sînt aranjate în concordanță cu funcțiile mașinilor-unelte.

Scanned with OKEN Scanner

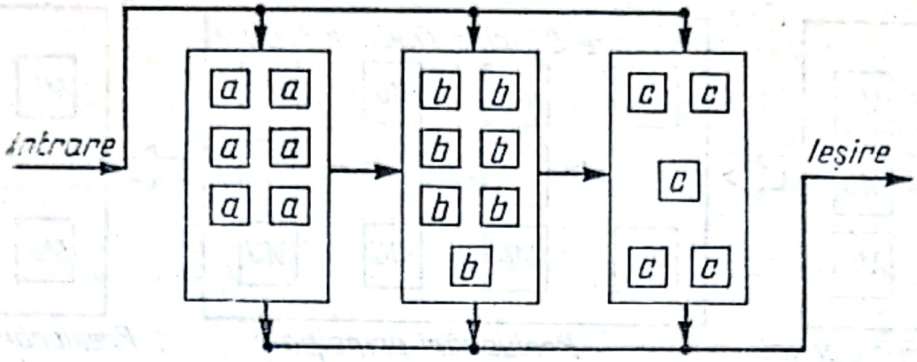


Fig. 9.41. Sistem de amplasare funcțională.

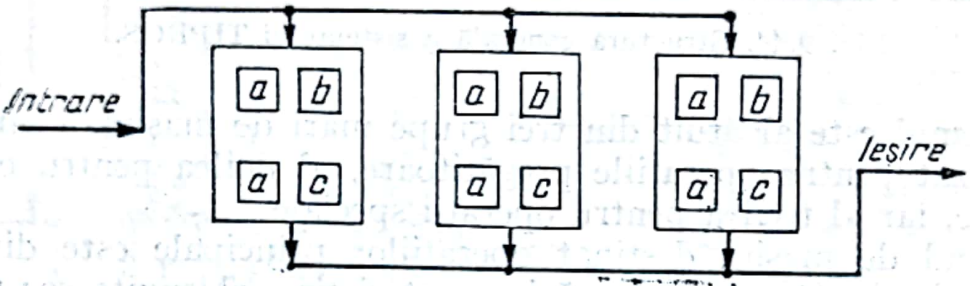


Fig. 9.42. Sistem de amplasare modulară.

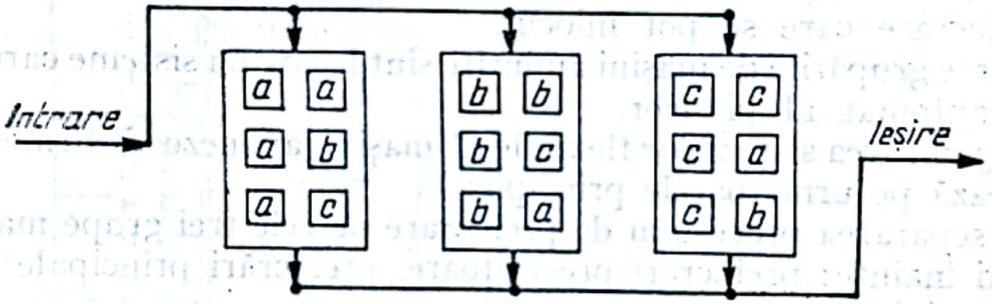


Fig. 9.43. Sistem de amplasare celulară.

b) *Amplasarea modulată.* Schema de amplasare în acest caz este alcătuită din mai multe module identice, fiecare dintre ele avînd mai multe funcții de prelucrare.

Un asemenea modul poate fi considerat, în general, ca fiind un centru de prelucrare. O asemenea amplasare poate fi considerată ca făcînd parte din grupa mașinilor care se înlocuiesc reciproc (fig. 9.42). Un astfel de sistem este caracterizat printr-o redondanță înaltă.

c) *Amplasare celulară.* În acest caz zonele de prelucrare se stabilesc în raport de sistemul de clasificare a pieselor. Aceste zone poartă numele de celule (fig. 9.43).

În acest caz redundanța sistemului este omisă.

Structura generală a sistemului TIPROS se încadrează în sistemul de amplasare funcțională a mașinilor (fig. 9.44), mașinile-unelte utilizate fiind centre de prelucrare din producția firmei Toyota.

Scanned with OKEN Scanner

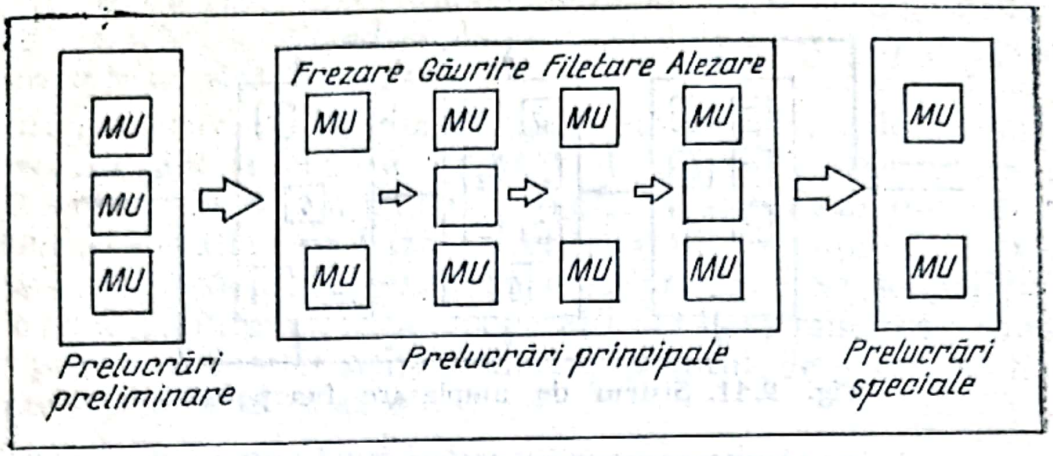


Fig. 9.44. Structura generală a sistemului TIPROS.

Sistemul este alcătuit din trei grupe mari de mașini. Primul grup este utilizat pentru operațiile pregătitoare, al doilea pentru operațiile principale, iar al treilea pentru operații speciale.

Grupul de mașini destinat operațiilor principale este divizat pe subgrupe destinat unor prelucrări caracteristice, obișnuite ca: frezarea, găurirea, filetarea etc. Fiecare din aceste grupe includ mai multe centre de prelucrare care se pot înlocui.

Toate grupările de mașini amintite sînt legate cu sisteme care asigură fluxul automat al pieselor.

Organizarea sistemelor flexibile de mașini japoneze ale firmei Toyota se bazează pe următoarele principii:

1) separarea procesului de prelucrare pe cele trei grupe mari amintite mai înainte: prelucrări pregătitoare, prelucrări principale și prelucrări speciale;

2) grupul de mașini destinat prelucrărilor principale să fie alcătuit din mașini-unelte multifuncționale;

3) prelucrările se aranjează în formă de schemă funcțională, clasificate conform proceselor de prelucrare;

4) se folosește ca regulă de prelucrare: primul sosit, primul servit în timpul cel mai scurt de prelucrare.

5) conectarea fluxului de materiale la un calculator;

6) mașinile-unelte folosite să fie din categoria centrelor de prelucrare, de tip identic pentru a constitui elemente modulare;

7) existența unei funcții care să asigure supravegherea directă a diferitelor faze ale procesului;

8) să fie alcătuită o ordine prioritară pentru prelucrare, care să permită, după caz, întreruperi pentru unele prelucrări înopinante.

Schema bloc a sistemelor TIPROS este prezentată în fig. 9.45.

Scanned with OKEN Scanner

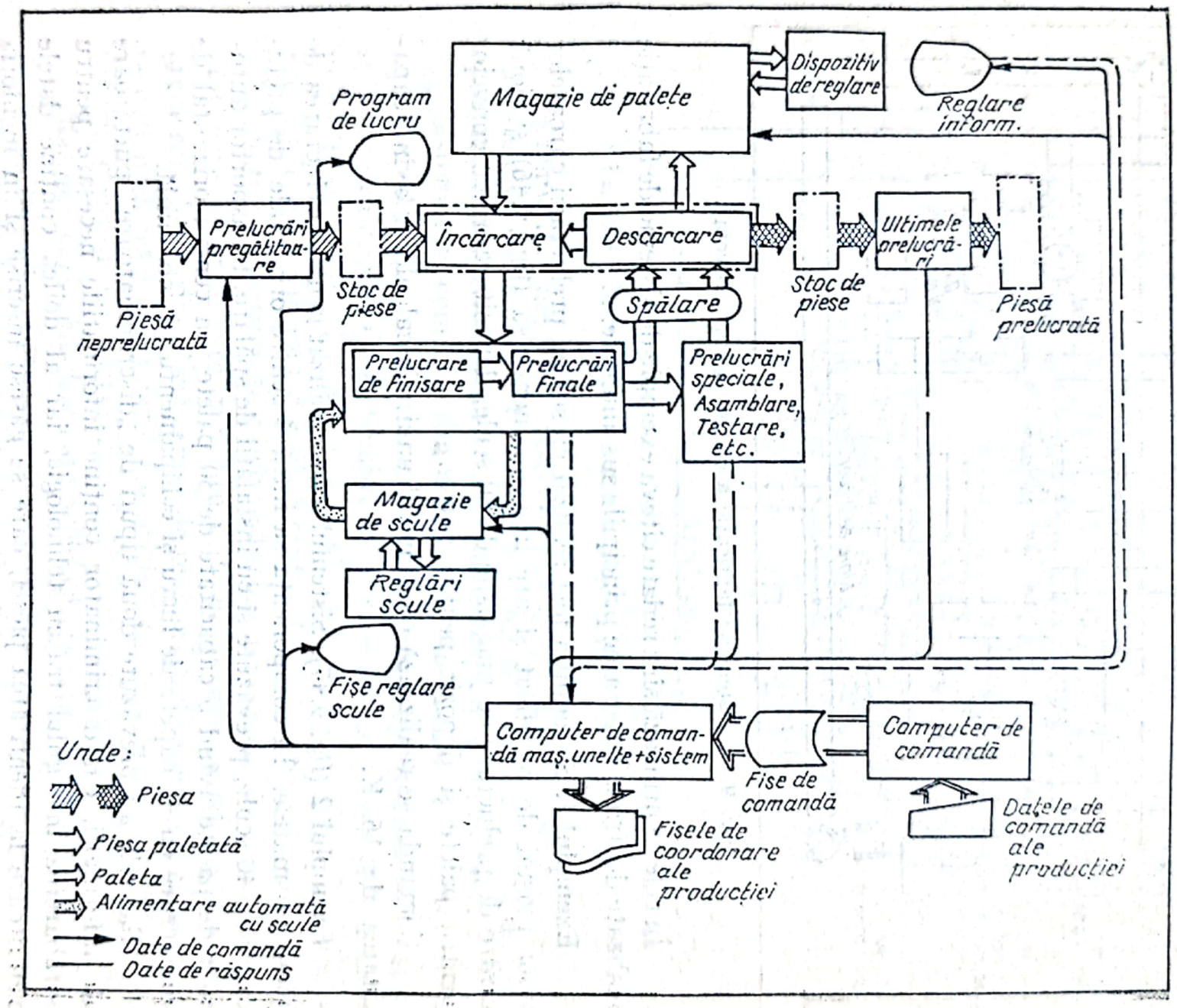


Fig. 9.45. Schema bloc a sistemului TIPROS.

Scanned with OKEN Scanner

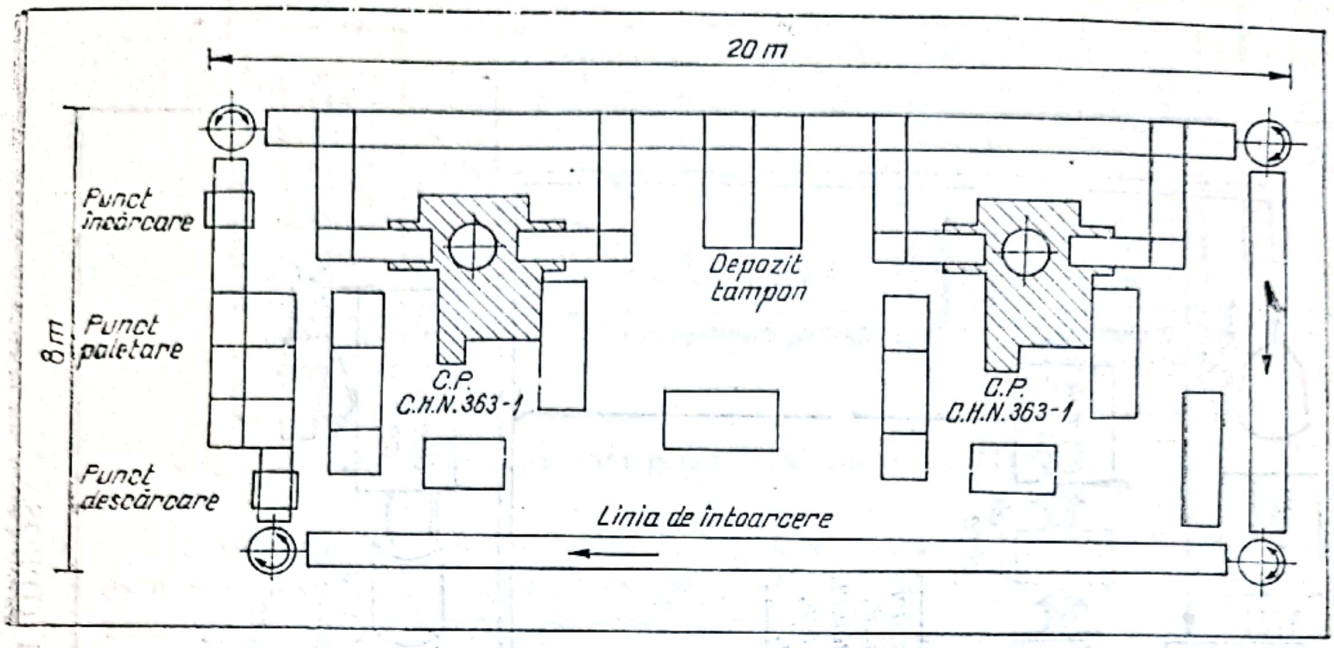


Fig. 9.46. Sistem de fabricație a carcaselor tip „Toyota".

În cele ce urmează sînt redate cîteva exemple de sisteme de fabricație realizate de firma Toyota pe principiile sus amintite.

Exemplul 1. Sistemul a fost realizat cu scopul prelucrării carcaselor unor mașini de rectificat și are în componența sa (fig. 9.46) și două centre de prelucrare cu magazine de 60 scule, depozit tampon, conveior pentru palete și depozit pentru palete.

Comanda se realizează cu ajutorul unui minicalculator avînd capacitatea de 16 K.

Exemplul 2 (fig. 9.47). Sistemul a fost realizat pentru prelucrarea de piese prismatice. În componența sa intră 4 centre orizontale de prelucrare cu 40 scule, prevăzute și cu instalații de spălare, transportor automat de palete avînd o capacitate de 30 palete, un centru orizontal de prelucrare cu 48 capete de lucru și echipamentul de comandă.

Paletele au prevăzute două tipuri de „discriminatoare" purtătoare de informații. Un discriminator conține informațiile necesare pentru străbaterea întregului traseu tehnologic, iar al doilea conține datele referitoare la identitatea piesei, care se găsesc înscrise și în memoria calculatorului și în funcție de care s-a realizat schema de prelucrare.

Scanned with OKEN Scanner

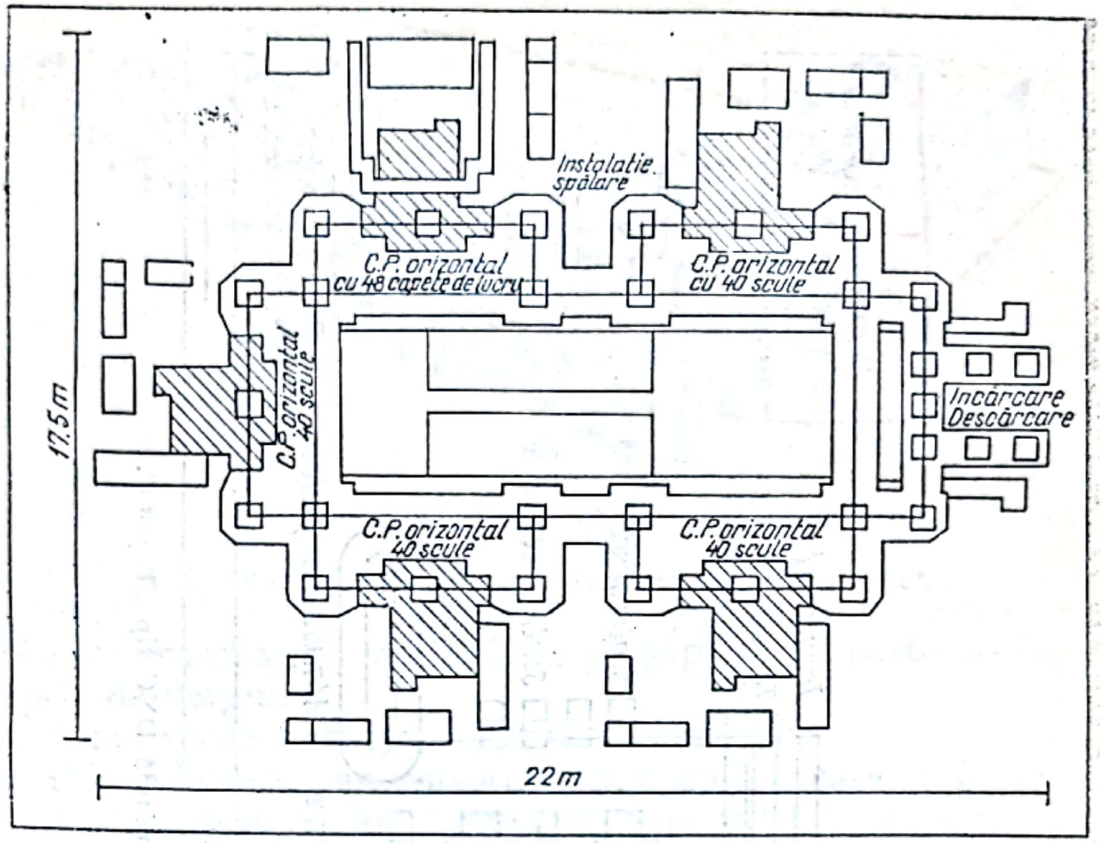


Fig. 9.47. Sistem de fabricație a pieselor prismatice tip „Toyota".

Exemplul 3 (fig. 9.48). Sistemul este de tip modular și este prevăzut cu sistem de comandă DNC. El poate prelucra o varietate largă de piese aparținînd motoarelor, cum ar fi blocul cilindrilor, chiulase etc.

Sistemul se compune din două grupe de mașini.

Primul grup este alcătuit din două centre de prelucrare cu 60 scule și un centru orizontal de strunjire cu 8 scule și este destinat lucrărilor pregătitoare paletării pieselor. Al doilea grup este destinat operațiilor principale și este format din două centre de prelucrare destinate operațiilor de frezare prevăzute cu cîte 60 scule, un centru de prelucrare cu 32 capete de prelucrare, trei centre de prelucrare cu 60 scule pentru prelucrări de găurire, două centre de prelucrare de asemenea cu 60 scule pentru prelucrări de alezare și o mașină cu cap revolver cu 8 posturi pentru operații de filetare.

Mașinile care sînt destinate aceleiași operații alcătuiesc un modul și se pot înlocui reciproc.

Transportul paletelor se realizează prin deplasare pe trei conveioare așezate paralel în lungul sistemelor de mașini, de unde sînt preluate

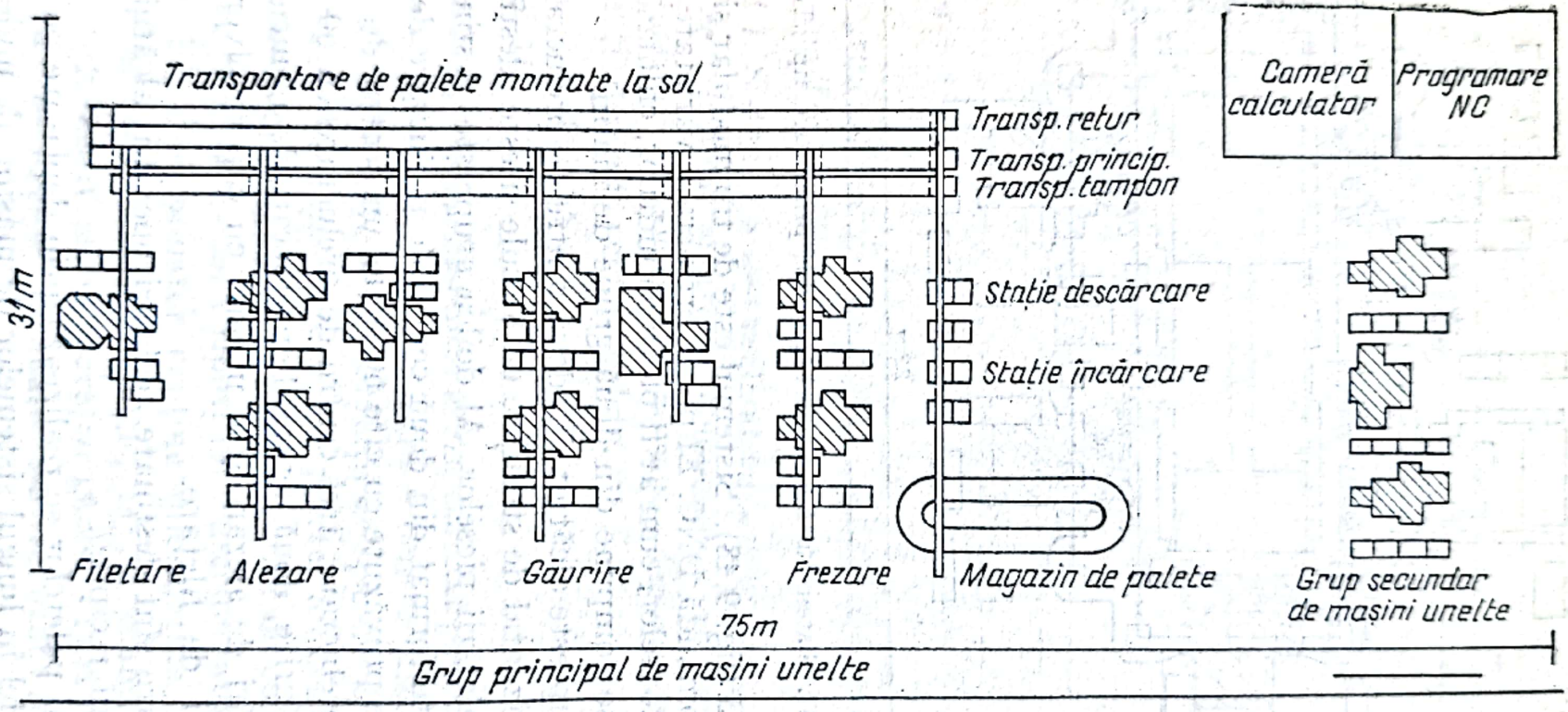


Fig. 9.48. Sistem modular cu comandă DNC tip „Toyota".

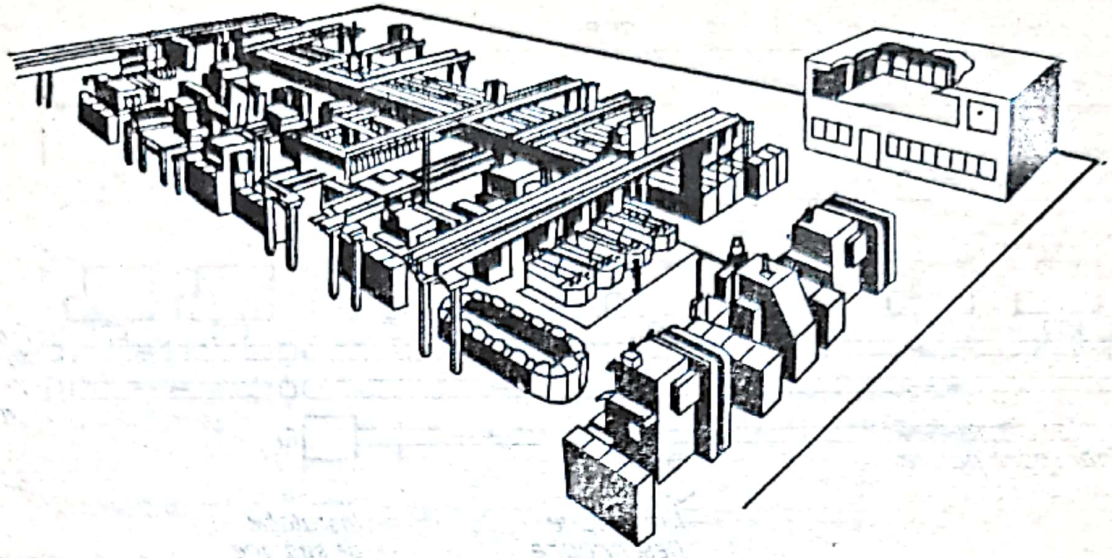


Fig. 9.49. Sistem de mașini destinat firmei „Toyota".

și deplasate transversal, suspendate, pe șapte transportoare (fig. 9.49) la grupele de mașini.

Sistemul poate funcționa în două moduri:

a) Prin folosirea transportorului tampon, pe care se încarcă paletele conform instrucțiunilor de prelucrare pe module de lucru. În acest caz, paletele sînt așezate pe mesele mașinilor-unelte integrate în sistem corespunzător secvențelor de înmagazinare ale transportorului tampon.

Dacă o paletă, dintr-un anumit motiv nu este încărcată pe una din mașinile dintr-un modul, atunci ea este returnată transportorului principal și apoi transferată din nou transportorului tampon.

b) Prin transportarea paletelor pe transportorul principal care are legătură directă cu diferitele mașini din sistem. Procedeul se aplică cînd se folosește metoda piesei prioritare. Instrucțiunile de prioritate în acest caz sînt date atît de către stația de încărcare cît și de către comanda centrală.

Exemplul 4 (fig. 9.50). Acest sistem a fost realizat pentru prelucrarea unor piese de dimensiuni mari și este format din 8 centre de prelucrare grupate în trei module de prelucrare.

Fiecare mașină are posibilitatea de prelucrare completă a unei piese. Transportul pieselor se face cu ajutorul a trei conveioare paralele: conveior tampon, conveior principal și conveior de reîntoarcere.

Sistemul poate transfera, după caz, o piesă între module în vederea prelucrării ei. Este prevăzut cu o comandă adaptabilă condițiilor de lucru și caracteristicilor pieselor.

Sistem flexibil de fabricație Kearney § Trecker. Acest sistem cu un mare grad de flexibilitate este capabil să asigure prelucrarea simultană a 8 piese tip carcasă de configurații diferite din oțel forjat sau turnat

Scanned with OKEN Scanner

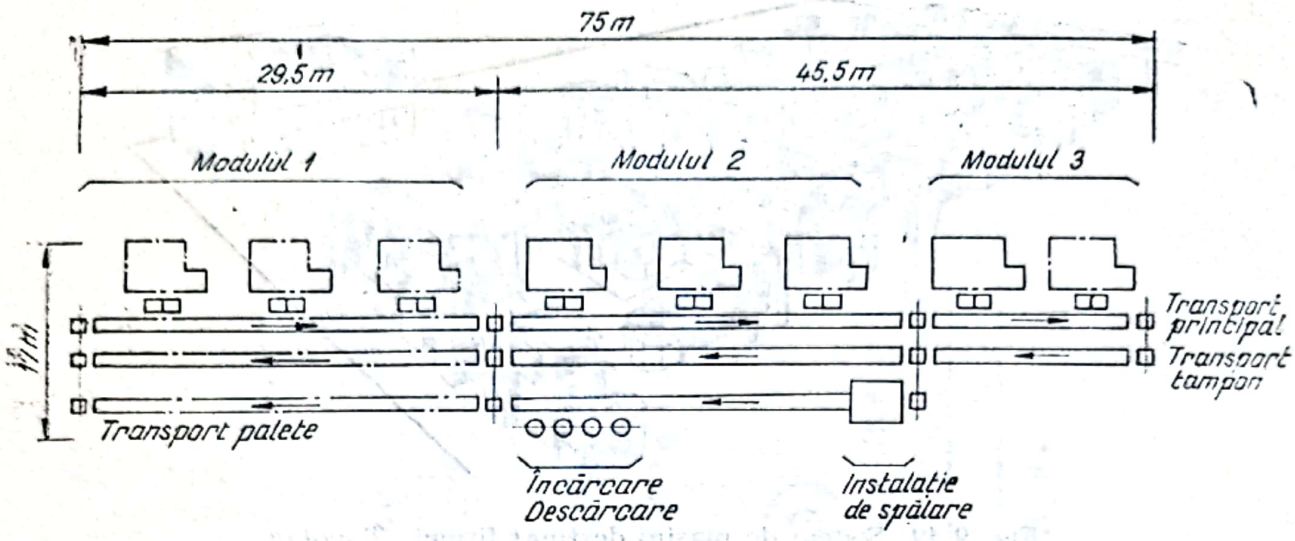


Fig. 9.50. Sistem modular pentru prelucrarea pieselor de dimensiune și complexitate mare tip „Toyota".

sau din fontă, prin prelucrări de frezare, strunjire, găurire, alezare, filetare, lamare. Piesele pot fi prelucrate într-o ordine întîmplătoare, iar mărimea loturilor nu este restrînsă de limite impuse.

În sistem sînt integrate 4 mașini prevăzute cu unități de lucru Duplex-indexabile, pe care se execută operații de frezare, alezare, filetare și strunjire frontală, 4 centre de prelucrare Moduline și 2 module de frezat pentru prelucrarea suprafețelor plane.

Mașinile-unelte sînt amplasate pe două linii paralele (fig. 9.51), iar piesele sînt transportate pe cărucioare cu roți ce se deplasează împrejurul liniilor și între acestea, tractate de lanțuri transportoare ce se găsesc într-un plan sub nivelul de amplasare a mașinilor. Încărcarea-descărcarea cărucioarelor se face în zona din dreapta unde se execută și verificarea pieselor fixate pe palete. Această zonă este legată prin intermediul unui terminal la calculatorul central.

Amplasarea mașinilor este făcută între căile de transport a cărucioarelor port-piesă. Una dintre căile de transport longitudinal servește pentru alimentarea cu piese, iar cealaltă pentru evacuarea pieselor. Cele două căi de transport sînt legate de o a treia cale transversală proprie mașinii-unelte. Paleta cu piesă este preluată pe această cale de transport de pe căruciorul de alimentare și este condusă și apoi amplasată pe masa mașinii pentru prelucrare, sau rămîne în așteptare un anumit timp, dacă în prelucrare se află o altă piesă.

La terminarea prelucrării, paleta cu piesă este deblocată de pe masa mașinii, fiind apoi împinsă pe cale de transport transversală și evacuată pe căruciorul de evacuare. Dacă piesa respectivă urmează să suporte în continuare prelucrări, căruciorul de evacuare se deplasează în dreptul

Scanned with OKEN Scanner

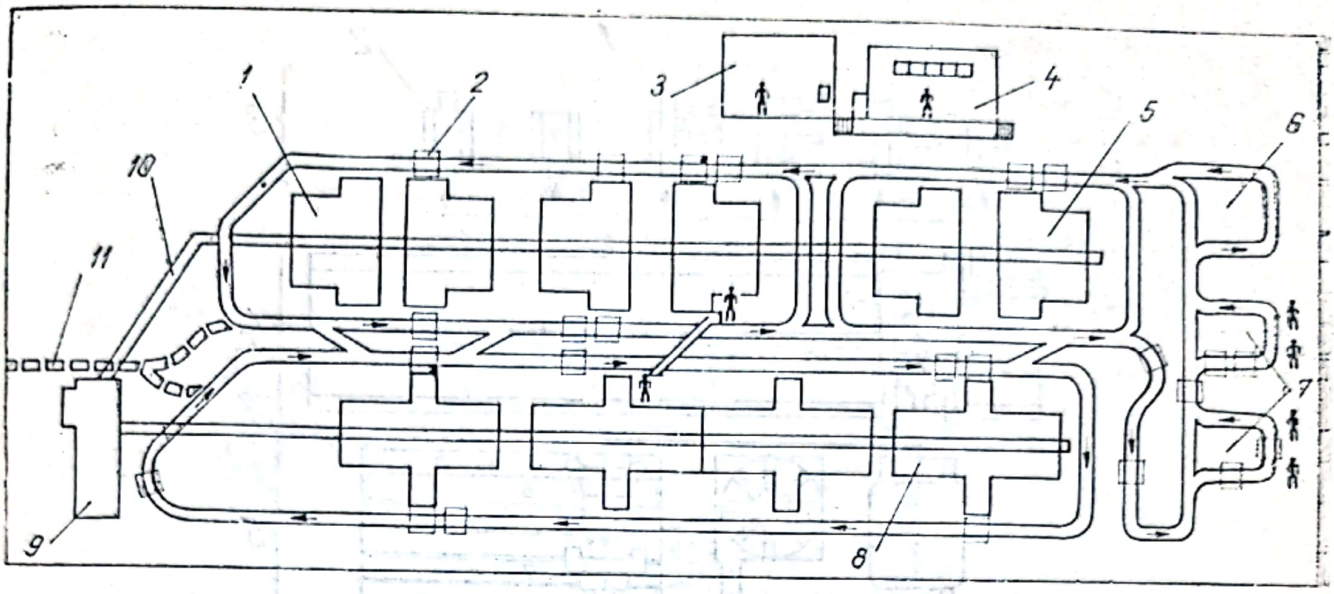


Fig. 9.51. Sistemul de fabricație K & T Allis-Chalmers (firma Kearney & Trecker): *1* — centru de prelucrare; *2* — cărucioare de transport; *3* — control sculă; *4* — comanda sistemului; *5* — modul pentru prelucrări prin frezare; *6* — punct de control; *7* — încărcare-descărcare palete; *8* — unități de lucru Duplex; *9* — depozit șpan; *10* — evacuare șpan; *11* — vibratoare.

altei căi transversale, efectuînd pentru aceasta operația de alimentare. În cazul cînd ciclul de prelucrare este încheiat, căruciorul va transporta piesa în zona de descărcare.

Viteza de deplasare a căruciorului este de 15 m/min.

Sistemul prezintă avantajul că în cazul defectării unei mașini, prelucrările din sarcina acesteia sînt repartizate automat celorlalte mașini-unelte din sistem.

Comanda mașinilor se realizează în sistem DNC. În cazuri speciale pot fi comandate individual, mașinile fiind prevăzute cu sistem NC propriu.

Întregul sistem de fabricație este deservit de 2—3 oameni care lucrează în zona de încărcare-descărcare, 2 reglori și un operator la centrul de comandă al sistemului.

Sistemul de fabricație YMS-30. Acest sistem destinat prelucrării pieselor prismatice de mărimi variabile, cuprinse între dimensiunile limită inferioară și superioară a laturilor de 500 ... 2000 mm, a fost creat de firma japoneză Yamazaki.

Realizarea acestui sistem s-a făcut plecînd de la ideia originală de extindere a posibilităților de prelucrare și de eliminare a rigidității unui centru de prelucrare, care are limitată gama pieselor prelucrate, la un anumit interval de dimensiuni și greutate, acționîndu-se pe următoarele direcții:

— mărirea tipurilor și numărului de scule utilizate prin dotarea fiecărei unități de lucru cu cîte două magazine, precum și cu dotarea

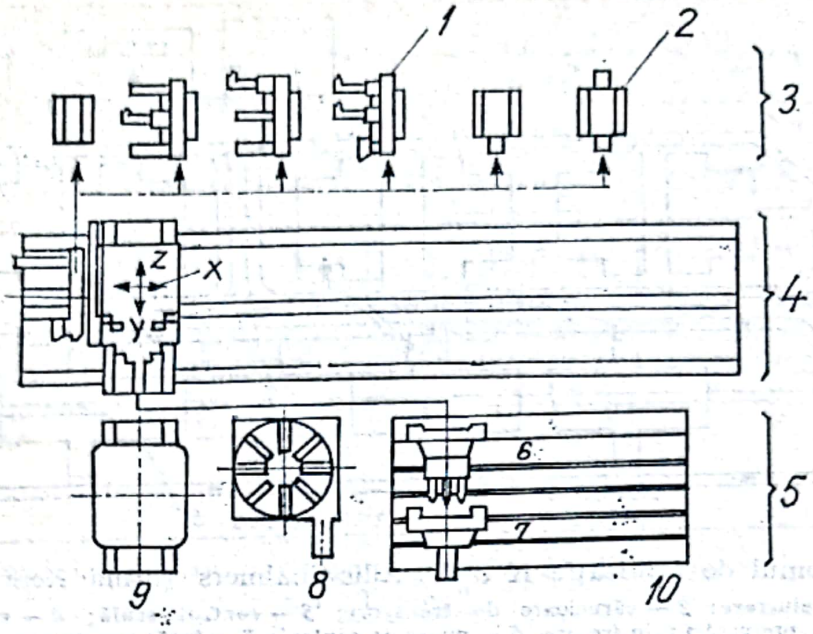


Fig. 9.52. Zonele componente ale sistemului YMS:
1 — magazin de scule; *2* — suportul magazinului; *3* — zona de echipare cu scule; *4* — zona de prelucrare; *5* — zona de amplasare a pieselor; *6* — cap multiax; *7* — cap rotativ; *8* — masă rotativă *9* — masă deplasabilă și rotativă; *10* — masă fixă.

cu capete de lucru cu prelucrare automată de către mașina-unealtă, conform programului NC;

— utilizarea diferitelor variante de mese integrate în sistem — construite în sistem Baukausten — extinzînd astfel caracteristicile de formă, greutate și dimensiune a pieselor care se pot prelucra.

După cum rezultă din fig. 9.52, sistemul se compune din trei zone importante după cum urmează:

1) *Zona de prelucrare.* În această zonă (*4*) sînt amplasate mașinile care realizează prelucrările (fig. 9.53) și este alcătuită din următoarele elemente: un batiu cu două ghidaje *9*, pe care se poate deplasa în direcția *X* o sanie *8* și pe care este amplasat montantul *7* deplasabil în direcția *z*. Pe ghidajele montantului în direcția *Y*.

Caracteristicile acestei unități de lucru sînt următoarele: puterea motorului 15 CP, cursa $Y = 650$; 800, 1000 mm.

Aliniat cu batiul *9* se află batiul *15*, prevăzut cu trei ghidaje, pe care se deplasează în direcția *X* sania *14* pe ghidajele căreia se deplasează în direcție *Z* montantul *16* sau montantul *17*. Pe ghidajele acestor montanți se deplasează, în direcția *Y*, păpușa *13*. Batiul *15* poate fi prelungit cu batiul *30*.

Caracteristicile unității de lucru sînt: motorul antrenării principale 30 CP, cursa în direcția *Y* pentru montantul *16* este de 1500 sau 2000 mm iar pentrtu montatul 17 de 1000 mm.

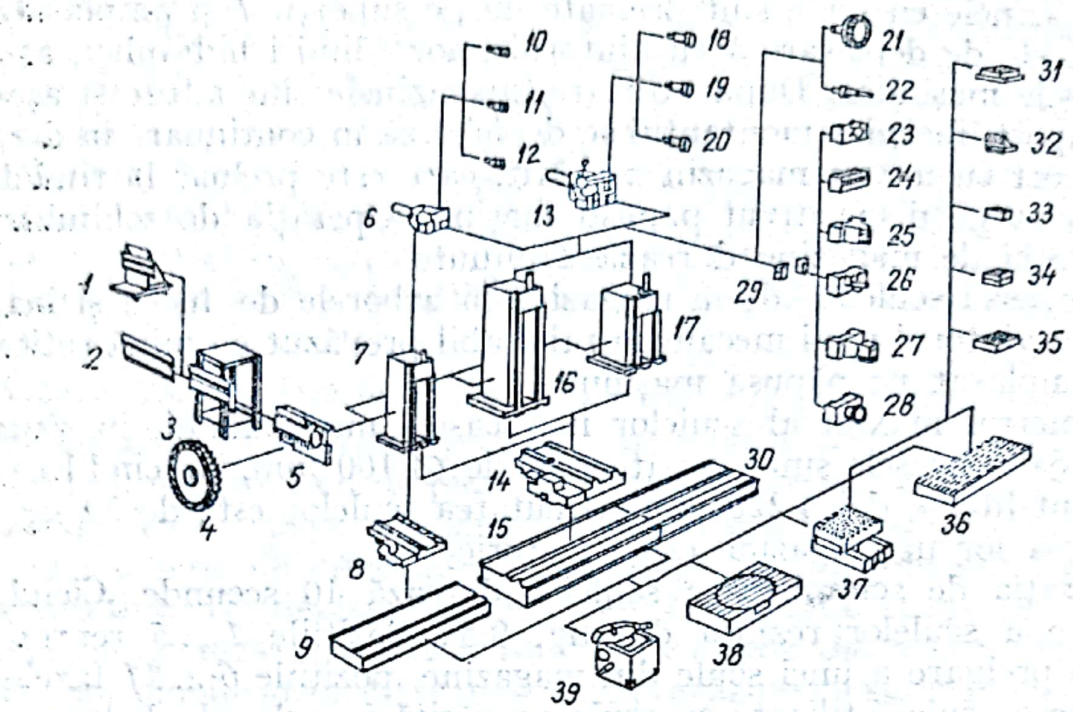


Fig. 9.53. Elementele componente ale sistemului YMS:

1 — căruciorul magazinului; *2* — placă de ghidare; *3* — suportul magazinului; *4* — magazin de scule; *5* — depozit de deplasare; *6* — păpușa 15 CP; *7* — montant; *8* — sanie; *9* — batiu cu 2 ghidaje; *10* — arbore de turație joasă; *11* — arbore de turație medie; *12* — arbore de turație înaltă; *13* — păpușă 30 CP; *14* — sanie; *15* — batiu cu 3 ghidaje; *16—17* — montanți; *18, 19, 20* — arbori de turație joasă, medie, înaltă; *21—28* — capete de lucru; *29* —dispozitiv de fixare; *30*—batiu; *31* — masă rotativă; *32* — masa perpendiculară; *33* — suport; *34* — masă cubică; *35* — placă de fixare; *36* — masă fixă; *37* — masă rotativă, deplasabilă; *38* — masă cu platou rotativ integrat; *39* — masă cu platou rotativ, înclinabilă.

Păpușile celor două unități de lucru sînt prevăzute cu variante de cutii de viteze și arbori de lucru, pentru turațiile: *25* la 3150 rot/min (execuție normală); *16* la 2000 rot/min (execuție specială); *40* la 5000 rot/min (execuție specială).

Pentru păpușa *6*, variantele de arbori sînt *10*, *11* și *12*, iar pentru păpușa *13* variantele de arbori *18*, *19* și *20*.

Deplasarea în direcția *X* se realizează cu ajutorul unei cremaliere melcate cu bile, iar pe direcțiile *Y* și *Z* cu ajutorul șuruburilor cu bile.

2) *Zona de echipare cu scule.* Magazinele de tip disc (fig. 9.53) sînt pregătite în afara sistemului prin echiparea lor cu scule prereglate, după necesitățile impuse de procesele tehnologice ce urmează a se realiza. Aceste magazine sînt transportate cu ajutorul căruciorului *1*, în apropierea sistemului și depuse pe suporții lor de magazine *3*, pe care sînt amplasate plăcile de ghidaje *2*.

Montanții *7*, *16* sau *17* se delasează în direcția *X* pînă în dreptul suporților *1*. Pe păpușile *6* sau *13* sînt amplasate dispozitivele de deplasare *5*, prevăzute cu echilibrare hidraulică pentru a nu influența poziția păpușilor.

Scanned with OKEN Scanner

Magazinele cu scule sînt preluate de pe suporții *1* și amplasate pe dispozitivele de deplasare *5* cu ajutorul unor cilindri hidraulici, așezați pe păpușile mașinilor. După utilizare, magazinele sînt aduse și așezate pe un suport liber, iar montantul se deplasează în continuare în dreptul unui suport cu un alt magazin pregătit, care este preluat la rîndul lui și amplasat pe dispozitivul păpușii mașinii. Operația de schimbare a unei perechi de magazine durează 2 minute.

Transferul sculelor de la magazine la arborele de lucru și înapoi, se face cu ajutorul unui mecanism rabatabil prevăzut cu mînă rotitoare dublă, amplasat pe păpușa mașinii.

Diametrul maxim al sculelor în locașele magazinului, în situația în care toate locașele sînt ocupate, este de ∅ 100 mm, iar cînd locașele vecine sînt libere, de ∅ 220 mm. Greutatea sculelor este de 30 kg, iar amplasarea lor în magazine este aleatorie.

Operația de schimbare a sculelor durează 10 secunde. Ciclul de schimbare a sculelor rezultă din fig. 9.54 Pozițiile *1* ... *5* reprezintă fazele de preluare a unei scule din magazine, pozițiile *6* ... *11* fazele de schimbare a sculei utilizate cu scula pregătită în arborele de lucru, iar pozițiile *12* ... *16* fazele de amplasare a sculei utilizate în magazin.

Din cele arătate mai înainte rezultă că fiecare unitate de lucru are la dispoziție două magazine: în timp ce unul se află în utilizare, celălalt se află în pregătire.

Posibilități importante de lucru le are sistemul prin folosirea capetelor de lucru amplasate la extremitatea din dreapta zonei de lucru. Acestea sînt: *21* — freză mare; *22* — bară de alezare; *23* — cap multiax;

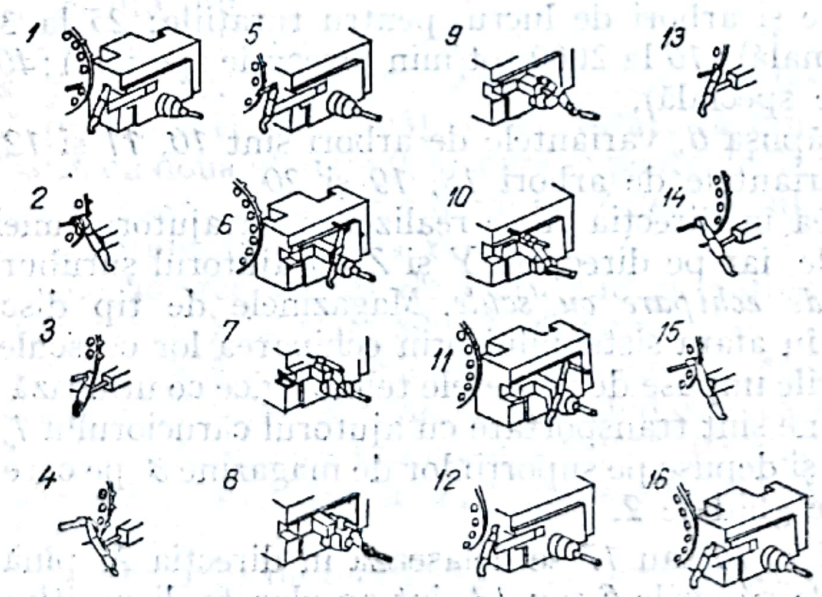


Fig. 9.54. Ciclul de schimbare a sculelor utilizat la unitățile de prelucrare integrate în sistemul de fabricație YMS-30.

24 — cap de broşat; *25* — cap de strunjit; *26* — cap de frezat caneluri; *27* — cap de frezat vertical etc.

Pentru folosirea acestor capete speciale de lucru în procesul tehnologic, montantul se deplasează în direcţia magaziei pînă în dreptul dispozitivului special, care este preluat prin deplasarea *Y* a păpuşii pînă în momentul coincidenţei dintre axa arborelui de lucru şi a capului special de prelucrare. În această poziţie, sesizată de un traductor de poziţie, capul de lucru este solidarizat de faţa frontală a păpuşii cu ajutorul unui dispozitiv de fixare *29*.

Cîteva din capetele de lucru enumerate sînt prezentate în fig. 9.55.

3) *Zona de amplasare a pieselor*. În vederea creării posibilităţii de prelucrare a multitudinii de piese de forme şi dimensiuni diferite, paralel cu direcţia *X* de deplasare a montanţilor în faţa batiurilor *9* şi *30*, sînt amplasate o serie de mese diferite cum sînt de exemplu masa fixă *36*, masa rotativă *37*, deplasabilă în direcţia *Z*, masa cu platou rotativ integrat *38* şi masa cu platou rotativ inclinabil *39*. Toate deplasările elementelor mobile ale acestor mese sînt prevăzute cu surse independente de acţionare şi echipate cu sistem de comandă NC.

Comanda sistemului. Sistemul de comandă al instalaţiei trebuie să fie folosit în permanenţă de starea şi poziţia elementelor componente.

În memoria „moartă" a calculatorului sînt introduse datele de natură constantă, ca de exemplu cele relative la erorile de reglare în funcţie de care se comandă compensările necesare ale unor deplasări, precum şi ciclurile de mişcări care se repetă cum ar fi cele necesare pentru schimbarea sculelor, etc.

În memoria „vie" se introduc în permanenţă, prin circuitul de reacţie al sistemului, datele referitoare la poziţiile elementelor mobile în cele trei direcţii *X*, *Y* şi *Z*, precum şi a poziţiilor fiecărei scule în magazinele respective.

Pentru realizarea acestor funcţii, sistemul YMS este înzestrat cu un echipament de comandă CNC de tip FANUC-200-03, avînd posibilităţi de control pe 8 axe, prevăzut cu un minicalculator.

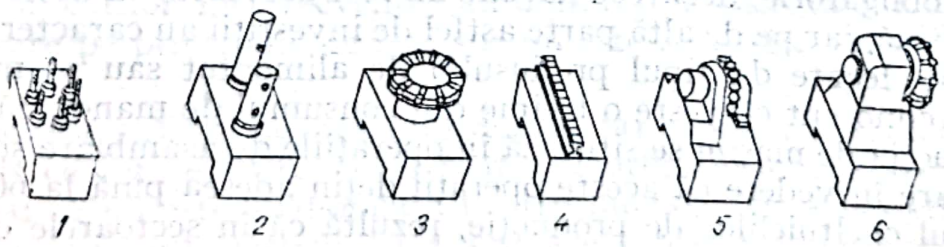


Fig. 9.55. Capete de lucru:
1 — cap multiax; *2* — cap special de găurire; *3* — cap de frezat; *4* — cap de broşare; *5* — cap de frezat canale; *6* — cap de frezat vertical.

Scanned with OKEN Scanner

În memoria minicalculatorului sînt înmagazinate următoarele funcții: tactul de schimbare a sculelor; funcția de alegere a sculelor; deplasarea și poziționarea în direcțiile X, Y, Z și instrucțiunile de funcționare ale mașinilor integrate în sistem.

Pentru evitarea unor comenzi greșite, se acordă o atenție deosebită intrării și ieșirii semnalelor din echipament.

Analizînd cele expuse rezultă că realizarea sistemului YMS s-a făcut pornindu-se de la extinderea posibilităților centrelor de prelucrare în următoarele direcții:

— mărirea tipurilor și numărului de scule care pot fi utilizate prin folosirea pentru fiecare unitate de lucru a două magazine, precum și a capetelor de lucru cu preluare automată de către mașina-unealtă, conform programului NC;

— extinderea caracteristicilor de formă, greutate și dimensiune a pieselor care se pot prelucra, prin utilizarea diferitelor variante de mese, integrate în sistem;

— construcția tuturor elementelor componente este realizată modular în sistem Baukasten.

9.6. SISTEME FLEXIBILE DE FABRICAȚIE FOLOSITE PENTRU OPERAȚII DE ASAMBLARE ȘI MONTAJ

Tehnologiile de asamblare nu au cunoscut dinamica celor de prelucrare mecanică sau a celor din sectoare primare (de semifabricare).

Istoricește, automatizarea mijloacelor de producție s-a dezvoltat, în primul rînd, la locurile de muncă în care mîna omului nu putea interveni direct, motiv pentru care principalul beneficiar al automatizării au fost mijloacele de prelucrare mecanică a materialelor. Operațiile de alimentare a mașinilor-unelte și cele de asamblare au fost automatizate mult mai tîrziu, deși ele au o pondere mai însemnată, în ciclul de fabricație. Această situație s-a datorat pe de o parte faptului că investiția nu a fost obligatorie, deoarece nevoile au fost acoperite cu mînă de lucru relativ ieftină, iar pe de altă parte astfel de investiții au caracter specific, fiind strîns legate de tipul produsului de alimentat sau asamblat.

Este cunoscut că peste o treime din consumul de manoperă realizat în construcția de mașini se situează în operațiile de asamblare și montaj. Dacă se are în vedere că aceste operații dețin adesea pînă la 60 ... 70% din totalul cheltuielilor de producție, rezultă că în sectoarele de asamblare și montaj există mari rezerve de ridicare a eficienței economice prin raționalizarea acestora pe baze moderne de mecanizare și automa-

Scanned with OKEN Scanner

tizare. Acest fapt explică acordarea unei atenții sporite sistemelor integrate de dispozitive și mijloace tehnice care să permită reconsiderarea tehnologiilor de montaj în scopul creșterii substanțiale a productivității muncii și îmbunătățirii calității.

Extinderea automatizării în ultimii ani în domeniul asamblării se datorează următoarelor cauze: deficitul forței de muncă și reținerea sporită față de munca manuală, care nu corespunde cerințelor crescînde de productivitate și precizie în execuție; sporirea costului manoperei, care în multe cazuri reprezintă ponderea cea mai mare în prețul produsului; unificarea și tipizarea subansamblelor de mașini, precum și accentuarea caracterului lor modular care a condus la reducerea treptată a specificității investițiilor.

Tendința actuală de reducere a volumului de muncă al asamblării o constituie mecanizarea și automatizarea proceselor de îmbinare, mecanizarea transportului pieselor sau subansamblelor, eliminarea ajustajului manual, alegerea celei mai economice metodologii de interschimbabilitate la asamblare etc. Progresele înregistrate pînă în prezent s-au bazat în special pe principiul diviziunii muncii în cadrul „specializării proces" și parțial pe lucrul în flux.

Aplicarea acestor principii în cazul producției de serie mare și de masă au condus la mecanizarea și automatizarea diferitelor operații de montare și în unele cazuri a întregii activități de montare. Cele mai extinse aplicații s-au înregistrat mai ales în industria automobilelor.

Acest fapt se explică și prin aceea că durata de viață a produsului asamblat cu valoare ridicată este extinsă pe o perioadă relativ îndelungată, permițînd obținerea unor termene de amortizare egale sau mai mari de 4 ani, spre deosebire, de exemplu, de domeniul produselor electrocasnice unde termenul de amortizare este de cel mult un an și jumătate.

Pe de altă parte, aceste principii aplicate în domeniul montajului seriilor mari și de masă au condus la o utilizare optimă a forței de muncă, obținîndu-se o creștere substanțială a productivității muncii.

În cadrul producției de serie mijlocie, însă, datorită numărului mare de operații diferite de montare în raport cu mărimea seriei, precum și a modificărilor lor frecvente, automatizarea integrală a operațiilor de montare pe principiile de mai sus nu este rentabilă, în afară de mici excepții.

Deoarece realizarea unei linii de montaj complet automate implică cheltuieli ce nu se justifică în toate cazurile, automatizarea parțială nu numai că nu este abandonată pentru moment, ci ea se extinde către ceea ce se numește sistem de asamblare integrat.

Raționalizarea oricărui proces de montaj, în general, implică cunoașterea funcțiilor tehnologice de bază ale acestuia.

Scanned with OKEN Scanner

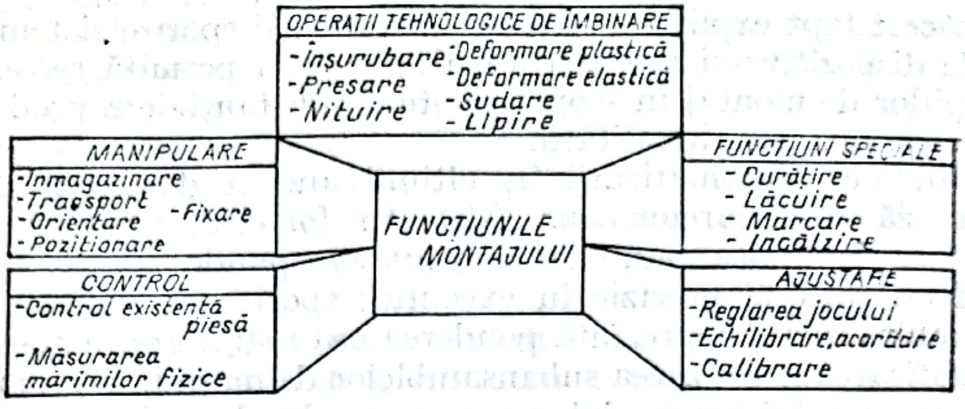


Fig. 9.56. Funcțiile tehnologice în procesul de montaj.

După cum rezultă din fig. 9.56, acestea pot fi grupate în *funcțiuni principale*, care asigură operațiile tehnologice de îmbinare și *funcțiuni secundare*, cum sînt manipularea, controlul și funcțiunile speciale (ajustarea) care contribuie indirect la dezvoltarea procesului de montaj.

Întrucît cheltuielile pentru automatizare cresc în raport direct cu numărul și dificultatea funcțiunilor necesare a fi realizate în cadrul unui montaj, rezultă că pentru rentabilizarea automatizării procesului de montaj este necesară reducerea la maximum posibil a numărului de funcțiuni principale și secundare.

În figura 9.57 sînt sintetizate [113] condițiile necesare unui montaj automat rentabil. Din figură rezultă că numărul funcțiunilor se reduce în măsura în care este posibilă reducerea numărului de obiecte funcționale (elementele de construcție, elementele de legătură, sculele de montaj etc.).

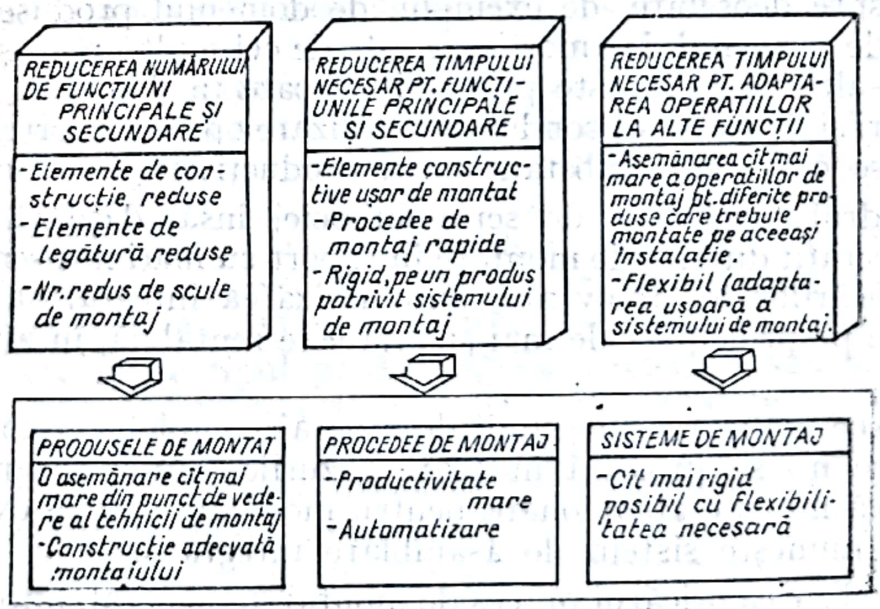


Fig. 9.57. Condițiile necesare unui montaj automat rentabil.

Scanned with OKEN Scanner

Reducerea timpilor necesari pentru efectuarea funcțiunilor, în vederea creșterii productivității muncii, se poate obține prin realizarea unei construcții cît mai tehnologice a produsului (configurația produsului adaptată tehnicii montajului).

Este evident că o condiție esențială pentru realizarea unui montaj modern rentabil o constituie asigurarea unei flexibilități optime a sistemului, atît din punct de vedere a posibilităților de adaptare la sarcini noi în funcție de schimbarea formei și dimensiunilor produsului, cît și din punct de vedere al procesului tehnologic ce urmează a fi efectuat. Necesitatea stabilirii nivelului optim de flexibilitate pleacă de la premisa că flexibilitatea se poate situa în domeniul automatizării pe diferite trepte, începînd de la posibilitatea de modificare a parametrilor sau a programului pînă la realizarea unor operații cu caracter adaptabil, iar un sistem flexibil este totdeauna mai costisitor decît un sistem rigid.

Din figura 9.58 rezultă modul de determinare a domeniului optim de flexibilitate din punct de vedere economic, corespunzător unui montaj automatizat.

Prin cheltuieli de flexibilitate se înțeleg cheltuielile care se efectuează în vederea proiectării și realizării unui utilaj flexibil, capabil a fi adaptat ușor la montajul unui produs similar cu cel pentru care a fost inițial conceput.

Cheltuielile de adaptare reprezintă cheltuielile necesare adaptării unui utilaj rigid, proiectat și executat inițial pentru un produs, la realizarea unui alt produs.

După cum este cunoscut, se deosebesc două forme esențiale de organizare a asamblării: asamblarea staționară și asamblarea mobilă.

Succesiunea operațiilor de asamblare, indiferent de modul de organizare a asamblării, trebuie să aibă loc într-o anumită ordine, impusă de felul în care reperele ocupă locul prevăzut în ansamblul produsului. Nerespectarea succesiunii logice poate să conducă la demontări dese, cu implicații negative asupra productivității și calității. Succesiunea naturală și logică a operațiilor se stabilesc cu ajutorul schemei de asamblare (reprezentarea grafică a asamblării).

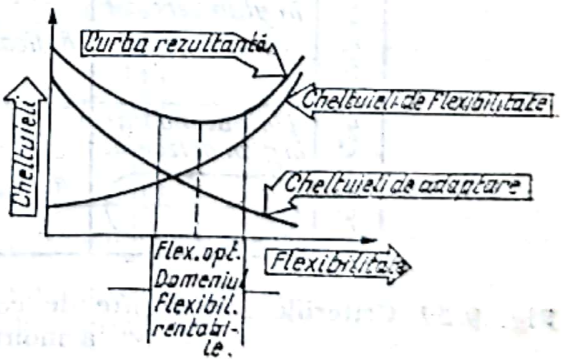


Fig. 9.58. Determinarea flexibilității optime.

O componentă deosebit de importantă a oricărui sistem de asamblare mecanizat și automatizat o reprezintă sistemul de transfer care asigură legătura între posturile de lucru din cadrul unui flux tehnologic de montaj.

În figura 9.59 sînt redate principalele tipuri de transfer la montajul mecanizat sau automatizat și cîteva criterii mai importante de comparație.

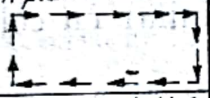
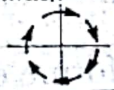
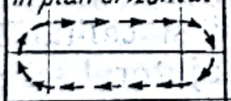
TIPURI DE TRANSFER	FORMA CONSTRUCTIVĂ	CRITERII DE COMPARAȚIE				
		Productivitate	Volumul de montaj	Flexibilitate	Grad de disponibilit.	Costul investiției
MONTAJ STAȚIONAR	Post de montaj	Foarte redusă	Mic	Mare	Mare	Foarte scăzut
TRANSFER ASINCRON	Linie de montaj în plan vertical	Mare	Foarte mare	Mare	Foarte mare	Foarte. Foarte ridicat
	Linie de montaj în plan orizontal 	Mare	Foarte mare	Foarte mare	Foarte mare	Foarte ridicat
TRANSFER SINCRON	Masă rotativă indexată 	Foarte mare	Limitat	Zero	Scăzut	Media
	Linie de montaj în plan vertical	Foarte mare	Mare	Scăzută	Foarte scăzut	Foarte ridicat
	Linie de montaj în plan orizontal 	Foarte mare	Mare	Scăzută	Foarte scăzut	Ridicat
TRANSFER CONTINUU	Linie de montaj în plan vertical	Ridicat	Redus	Foarte scăzută	Foarte scăzut	Foarte ridicat
	Linie de montaj în plan orizontal	Ridicat	Redus	Foarte scăzută	Foarte scăzut	Ridicat

Fig. 9.59. Criteriile importante de comparație ale principalelor concepte de transfer a montajul automatizat.

Scanned with OKEN Scanner

Prin *transferul sincron* se înțelege deplasarea simultană a paletelor sau dispozitivelor purtătoare, după efectuarea operației de montaj, în posturile următoare ale fluxului tehnologic. Tactul de lucru al utilajului este determinat de postul cu operația de montaj avînd durata cea mai mare.

În cazul *transferului asincron*, paletele ce conțin piesele montate sînt deplasate, imediat ce operația de montaj a fost încheiată, într-o zonă de așteptare a transportului de unde sînt preluate apoi succesiv, imediat ce postul de lucru următor s-a eliberat. În acest mod se asigură un transfer flexibil al pieselor la montaj, iar structura construcției poate fi adaptată cu ușurință în etapele următoare la eventuale noi condiții de montaj și gabarit.

Transferul continuu se folosește mai rar, întîlnindu-se cu precădere în industria automobilelor.

În figura 9.60 sînt prezentate domeniile de utilizare ale sistemelor de bază ale montajului. Din analiza comparativă rezultă că la un anumit număr minim de piese, a cărui limită este cu atît mai mare cu cît sarcina de montaj este mai complexă, montajul automat devine nerentabil.

Se subliniază că un element esențial în evaluarea eficienței unui montaj este dat de *gradul de disponibilitate tehnică*. Acest indicator depinde de numărul și durata opririlor ce pot apărea ca urmare a nerespectării toleranțelor tehnologice la execuția pieselor (în sectoarele precedente) ce urmează a fi asamblate pe utilaj, precum și de defecțiunile mașinilor, care atrag după sine întreruperea fluxului de montaj influențînd negativ productivitatea utilajului de montaj.

Perturbațiile apărute în oricare post de lucru influențează negativ activitatea sistemelor de transfer sincrone (determinînd oprirea

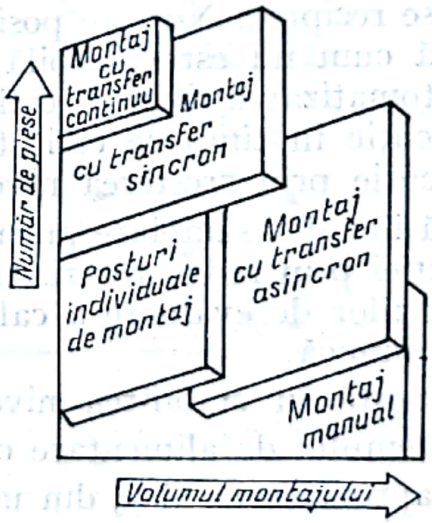


Fig. 9.60. Domeniul de utilizare a sistemelor de bază ale montajului.

Scanned with OKEN Scanner

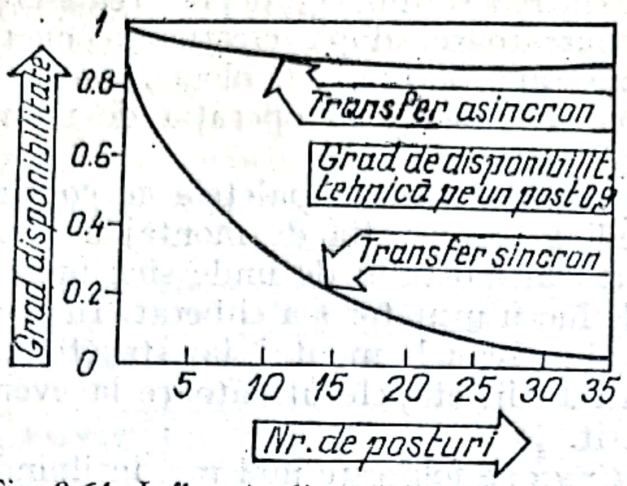


Fig. 9.61. Influența disponibilității tehnice asupra sistemului de transfer.

întregii instalații), în timp ce perturbațiile intervenite într-un post la un montaj cu transfer asincron nu influențează activitatea celorlalte posturi de lucru. Ca urmare, gradul de disponibilitate al sistemelor de montaj cu transfer asincron este mult mai ridicat decît cel al sistemelor de montaj cu transfer sincron (fig. 9.61).

Se impune deci ca pentru realizarea unui montaj automatizat rentabil să se procedeze la cercetarea metodică a soluțiilor posibile. Un astfel de program de cercetare este prezentat în fig. 9.62.

Din cele prezentate mai înainte cu privire la examinarea soluțiilor privind extinderea automatizării se impune o concluzie generală și anume că exigențele tehnologiilor moderne reclamă în mod pregnant necesitatea stabilirii unei relații strînse între calitate și automatizare, cele două concepte condiționîndu-se reciproc. Nu este posibilă calitate superioară fără automatizare, după cum nu este posibilă automatizare de nivel ridicat fără calitate. Automatizarea reclamă calitate prin creșterea preciziei tehnologice de execuție în timp ce calitatea condiționează satisfacerea preciziei în execuție prin creșterea nivelului de automatizare.

Automatizarea lucrărilor de asamblare prezintă avantajul hotărîtor privind calitatea producției prin reducerea riscurilor de apariție a erorilor, obiectivizarea criteriilor de evaluare a calității, precum și îmbunătățirea condițiilor de muncă.

O problemă importantă în stabilirea nivelului de automatizare o constituie alegerea sistemului de alimentare cu piese a posturilor de montaj care reprezintă aproximativ 35% din manopera totală a montajului. În consecință, studiul de analiză multilaterală (pe variante de montaj) trebuie să evidențieze explicit fazele de elaborare ale sistemului

Scanned with OKEN Scanner

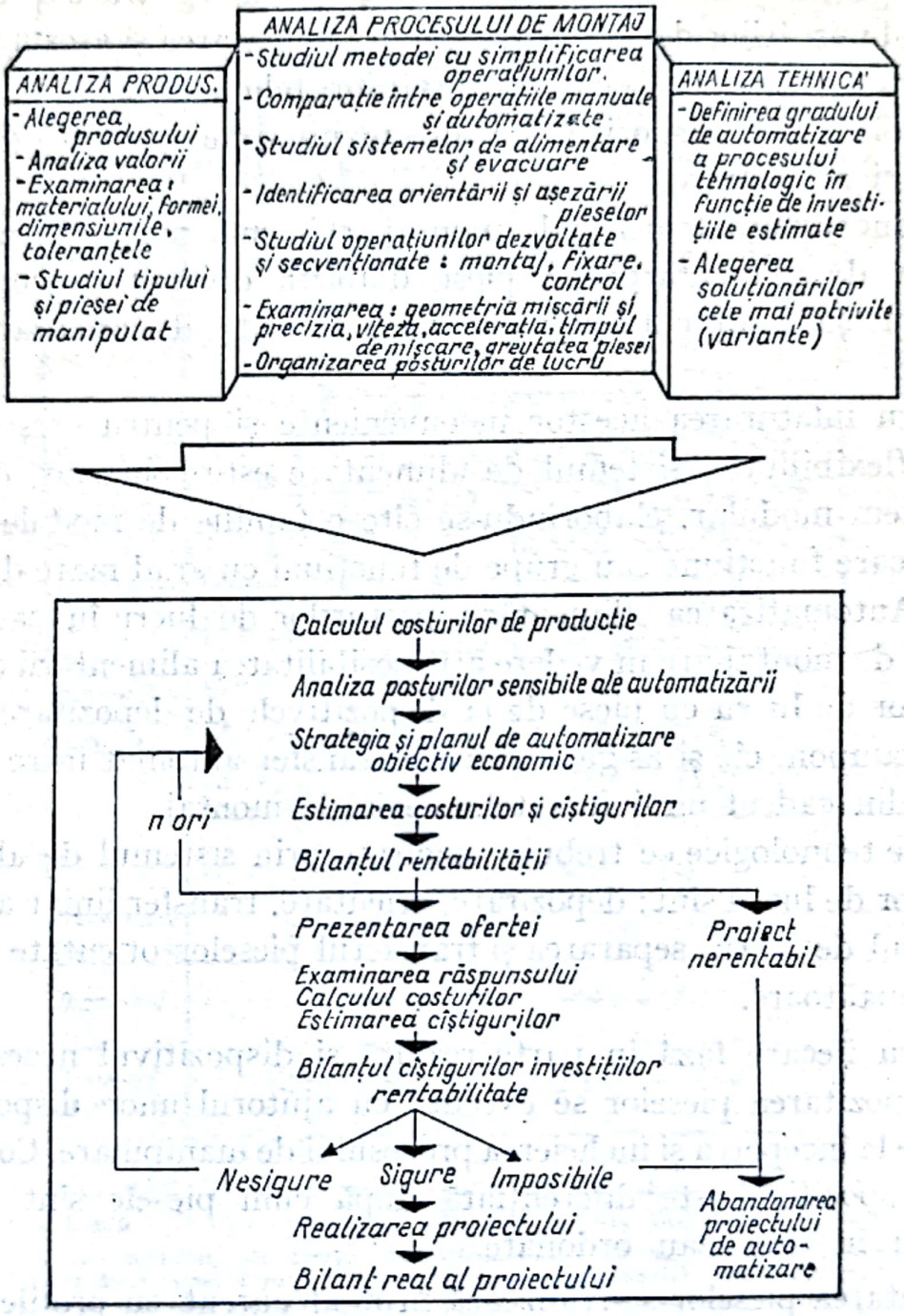


Fig. 9.62. Program pentru cercetarea metodică a soluțiilor de automatizare în montaj.

Scanned with OKEN Scanner

de alimentare cu piese, în cadrul procesului tehnologic de montaj, după cum urmează:

— alegerea modului de manipulare pe întreg traseul tehnologic (ansamblul mișcărilor de lucru care asigură deplasarea și așezarea corectă a pieselor pe întreg parcursul operațiilor tehnologice);

— proiectarea dispozitivelor de manipulare pentru depozitare, orientare și alimentare.

În concepția sistemelor de montaj, cele mai mari dificultăți sînt prezentate de alimentarea cu piese datorită diversității constructive a acestora și a dificultăților specifice ridicate de orientarea automată a lor.

Pentru înlăturarea acestor inconveniente și pentru creșterea gradului de flexibilitate, sistemul de alimentare este conceput, de obicei, ca un sistem modular, elaborîndu-se cîte o familie de module specifice pentru fiecare funcțiune sau grupe de funcțiuni cu grad mare de repetabilitate. Automatizarea alimentării posturilor de lucru în cadrul unei tehnologii de montaj are în vedere atît posibilitatea alimentării automate a posturilor de lucru cu piese de la dispozitivele de depozitare, sau din stocurile-tampon, cît și asigurarea unui transfer automat între posturile de lucru din cadrul unui flux tehnologic de montaj.

Fazele tehnologice ce trebuie asigurate prin sistemul de alimentare a posturilor de lucru sînt: depozitare, orientare, transfer liniar al pieselor către postul de lucru, separarea și transferul pieselor orientate pe dispozitivele purtătoare.

Pentru fiecare fază în parte rezultă și dispozitivul necesar [108]. Astfel, depozitarea pieselor se execută cu ajutorul unor dispozitive de depozitare la începerea și încheierea procesului de manipulare. Construcția acestor dispozitive este diferențiată după cum piesele sînt destinate depozitării în vrac sau ordonate.

Orientarea pieselor se realizează în mod curent cu profile și șicane montate pe vibratoarele elicoidale electromagnetice de tipul celor prevăzute în fig. 9.63.

Transferul pieselor orientate la postul de lucru se efectuează, în general, prin transportoare vibrante liniare (fig. 9.64), iar a celor orientate pe dispozitive purtătoare se realizează cu ajutorul dispozitivelor

Scanned with OKEN Scanner

TABEL

cuprinzînd două tipuri reprezentative de vibratoare elicoidale acționate de electromagneți utilizate în tehnologia de montaj.

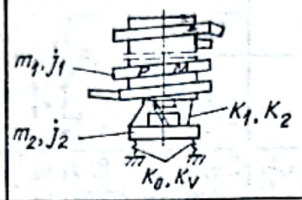
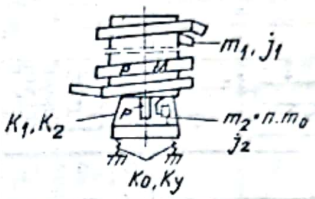
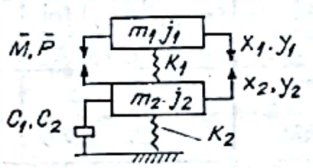
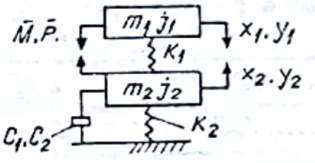
Tipul sistem. oscilant / Parametrii	Sistem oscilant cu două mase excitat de un electromagnet	Sistem oscilant cu două mase excitat de mai mulți electromag.
Schema autodistribuitorului vibrator		
Reprezentarea idealizată		
Ecuațiile diferențiale ale mișcării	$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} +$ $\begin{bmatrix} K_1 & K_1 & 0 & 0 \\ K_1 & K_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_2 & K_2 \\ 0 & 0 & K_2 & K_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P \\ P \\ M \\ M \end{Bmatrix} \sin \omega t$ în care: $M = P \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \beta$	$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & j_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} +$ $\begin{bmatrix} K_1 & K_1 & 0 & 0 \\ K_1 & K_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_2 & K_2 \\ 0 & 0 & K_2 & K_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P \\ P \\ M \\ M \end{Bmatrix} \sin \omega t$ în care: $P = n P_0 \operatorname{tg} \beta$ $M = n P_0 \frac{D_1}{2}$
Frecvența de acționare f (Hz)	50.... 100	50.... 100
Diametrul	150 ; 200 ; 300 ; 400	
Domeniul de utilizare	Orientarea și distribuirea pieselor mici	

Fig. 9.63. Tipuri reprezentative de vibratoare elicoidale acționate de electromagneți utilizate în tehnologia de montaj:

j_1, j_2 — momente de inerție ale vibratorului elicoidal, corespunzătoare celor două mase, în raport cu axa verticală a vibratorului; $x_1 x_2$ — deplasările pe verticală ale maselor; 1, 2 — deplasările maselor în plan orizontal; c_1, c_2 — coeficienți de amortizare în mișcarea de translație și mișcarea de rotație; P — modulul forței perturbatoare de acționare; M — modulul momentului perturbator de acționare; n — numărul electromagneților de acționare; K_1, K_2 — constantele totale ale arcurilor corespunzătoare solicitării în plan vertical, respectiv, orizontal; D — diametrul de fixare al arcurilor; β — unghiul de pantă al canalului elicoidal pe care se deplasează piesele.

Scanned with OKEN Scanner

TABEL

cuprinzînd cîteva tipuri reprezentative de transportoare vibrante utilizate în tehnologia de montaj.

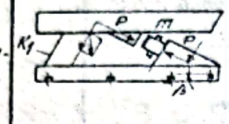
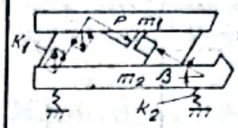
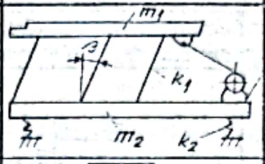
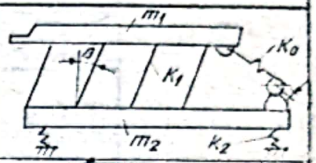
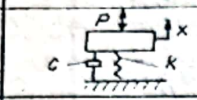
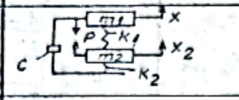
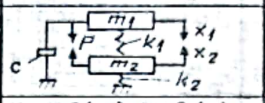
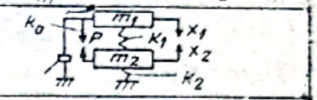
Tipul sistem. oscilant	Sistem oscilant cu o singură masă excitat cu electromagnet	Sistem oscilant cu două mase excitat cu electromagnet	Sistem oscilant cu două mase excitat cu mecanism bielă-manivelă	Sistem oscilant cu două mase excitat și mecanism bielă-manivelă și elem. elastic de antrenare
Schema transportului vibrant				
Reprezentarea idealizată				
Ecuațiile diferențiale ale mișcării	$mx + cx + kx = P\sin \omega t$	$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} c & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1+k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P \\ P \end{Bmatrix}$	$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} c & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ k_1+k_2 & -k_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P \\ P \end{Bmatrix}$	$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} c & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} k_1+k_0 & -k_1+k_0 \\ -k_1+k_0 & k_2-k_1-k_0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P \\ P \end{Bmatrix}$
Frecvența de acționare f (Hz)	50, 100	50, 100	5.... 15	5.... 15
Lungimea jgheabului (mm)	200.... 700	200.... 700	50.... 1200	500.... 1200
Domeniul de utilizare	Piese mici	Piese mici	Piese mici și mijlocii	Piese mici și mijlocii

Fig. 9.64. Tipuri reprezentative de transportoare vibrante utilizate în tehnologia de montaj:

x, x_1, x_2 — deplasările maselor; m, m_1, m_2 — masele vibratorului; P — modulul forței perturbatoare de acționare; K, K_1, K_2 — constantele arcurilor; c — coeficient de amortizare.

de alimentare. În figura 9.65 sînt prezentate cîteva tipuri reprezentative de manipulatoare utilizate în tehnologia de montaj de către I.C.T.C.M. București.

În ceea ce privește mașinile de asamblare automatizate, acestea au o răspîndire din ce în ce mai mare, fiind utilizate în cele mai diverse domenii. Evolutiv, aceste mașini au fost concepute inițial ca sisteme „rigide", ele fiind destinate să realizeze asamblarea unui singur produs și anume acela pentru care a fost proiectată mașina. Diversificarea produselor și creșterea complexității lor a impus orientarea automatizării montajului către realizarea unor mașini flexibile atît în ceea ce privește productivitatea, cît și în ceea ce privește trecerea de la asamblarea unui produs la altul asemănător.

În prezent, una din principalele căi de realizare a flexibilității sistemelor de montaj practicată și în țara noastră o constituie modularizarea construcției.

Avantajele ce rezultă din modularizarea construcției unui sistem de montaj sînt: utilizarea unor subansamble tipizate executate în serie; realizarea unor mașini într-un termen foarte scurt; adaptarea programului mașinii la o producție variată sau la un nou produs etc.

Scanned with OKEN Scanner

TABEL

cuprinzînd cîteva tipuri reprezentative de manipulatoare folosite în tehnologia de montaj

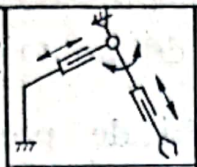
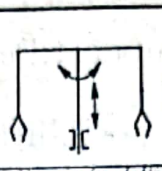
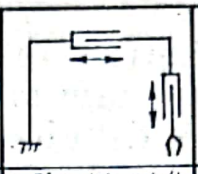
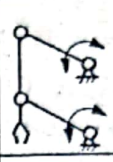
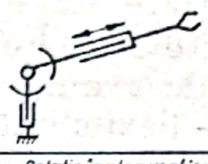
Tipuri reprezentative de manipulare / Cîteva caracteristici	 a - Mișcare de rotație și cimp de translație în plan vertical.	 b - Mișcare de rotație în plan orizontal și și cimp de translație în plan vertical.	 c - Cimp de translație în plan vertical și orizontal	 d - Rotație în plan vertical	 e - Rotație în plan vertical și orizontal și cimp de translație în plan vertical.
Sistemul de acționare	Pneumatic	Mecanic	Pneumatic	Electric	Pneumatic
Sistemul de comandă	Electronic	Mecanic	Electronic	Electronic	Electronic
Numărul gradelor de libertate	Două : - o rotație - o translație	Două : - o rotație - o translație	Două : - două translații	Unul : - o rotație	Trei : - două rotații - o translație
Felul dispozitivului de prindere și fixare	- Mecanic (penseță) - Cu vacum - Cu magnet - Cu electromag.	- Mecanic - Cu magnet permanent	- Mecanic - Cu vacum - Cu magnet - Cu electromag.	- Mecanic (penseță) - Cu electro-magnet	Pneumomecanic
Domeniul de folosire	În posturi dispuse pe linii de montaj	În posturi dispuse pe mese rotative indexate	În posturi dispuse pe linii de montaj	În posturi dispuse pe linii de montaj	În posturi dispuse pe linii de montaj

Fig. 9.65. Tipuri reprezentative de manipulatoare folosite în tehnologia de montaj.

La alegerea mașinii de asamblat trebuie avut în vederea faptul că un număr prea mare de operații reduce rapid randamentul mașinii, deoarece randamentul total al acesteia nu reprezintă decît produsul randamentelor individuale ale fiecărui post. Dacă de exemplu în cazul asamblării a 12 componente, ce corespund cu 12 posturi legate rigid între ele, fiecare post avînd un randament individual de 93%, randamentul total al mașinii nu este decît de 41%.

Datorită scăderii semnificative a randamentului mașinii în acest caz, la mașinile care trebuie să asambleze mai mult de 4 sau 5 componente, operația trebuie fracționată în mod obligatoriu, creînd stocuri între operații. Aplicarea acestei soluții conduce la obținerea unui randament mecanic total foarte apropiat de cel al postului cel mai eficient, în loc de a fi egal cu produsul randamentelor fiecărui post.

Avantajele modularizării sistemelor automate de montaj a asigurat totuși, pînă în prezent, o arie relativ restrînsă de aplicații, deoarece sistemele respective sînt în mod frecvent acționate sau comandate mecanic. Aceasta, în condițiile în care a crescut indicele de diversificare a producției, iar precizia și viteza de execuție a operațiilor tehnologice de montaj au devenit incompatibile cu posibilitățile biologice ale operatorului.

Scanned with OKEN Scanner

Înlăturarea acestor inconveniente și asigurarea creșterii substanțiale a producției de serie își găsește rezolvarea în adoptarea principiului „specializare produs" și organizarea celulelor flexibile de montaj robotizate.

Utilizarea roboților industriali în operațiile de montaj prezintă o serie de avantaje, după cum urmează:

— flexibilitatea ridicată datorită posibilității de programare și capacității de adaptare la problemele variate ale montajului. Ca urmare, se elimină necesitatea recuperării investiției în perioada de fabricație a unui singur produs, ca în cazul mașinilor speciale de montaj (în general, amortizarea în circa doi sau trei ani), ea extinzîndu-se pe durate de amortizare economic acceptabile ce depășesc în unele cazuri opt ani;

— reducerea costurilor în faza de pregătire tehnică a producției datorită posibilității de programare operativă;

— utilizarea traductoarelor. Echiparea roboților cu traductoare tactile și optice permit acestora să recunoască forma pieselor, să determine locul și poziția lor, să verifice și să înlăture piesele defecte etc.

Între dezavantajele prezentate de actuala generație de roboți se enumeră:

— durata ciclului de lucru realizabil cu un robot industrial din generația actuală este încă, în majoritatea cazurilor, mai mare decît durata asigurată de mașinile de montaj uzuale în producția de masă;

— costul roboților industriali este de multe ori, încă sensibil mai mare decît al echipamentelor convenționale de montaj;

— structura cinematică mai complexă a robotului pune, cel puțin la început, probleme de fiabilitate la utilizarea lui în producția de serie.

Previziunile actuale arată însă că viitoarele construcții de roboți se vor caracteriza prin realizarea unor performanțe de viteze mai mari, preț inferior față de cel al echipamentelor de manipulare convenționale și comportare corespunzătoare în producția de serie.

Complexitatea operațiilor de montare reclamă folosirea unor *roboți industriali din generații superioare*, dotați cu elemente de *inteligență artificială*, corespunzător nivelului sarcinilor de rezolvat.

Pînă în prezent chiar și roboții din generația a doua, prevăzuți cu senzori tactili, utilizați la diferite operații de asamblare, asigură adaptabilitatea la micromînuiri, cum este, de exemplu, montarea unui ax într-un alezaj (v. § 9.3).

Integrarea capului adaptiv de montare și a identificatorului de piese și scule (prevăzut cu senzori de recunoaștere a obiectelor) în structura roboților industriali de generația a doua a făcut posibilă utilizarea lor ca dispozitive automatizate de montare, îndeplinînd în măsură crescîndă funcții de selecție automată a pieselor și mașinilor-unelte ca și

Scanned with OKEN Scanner

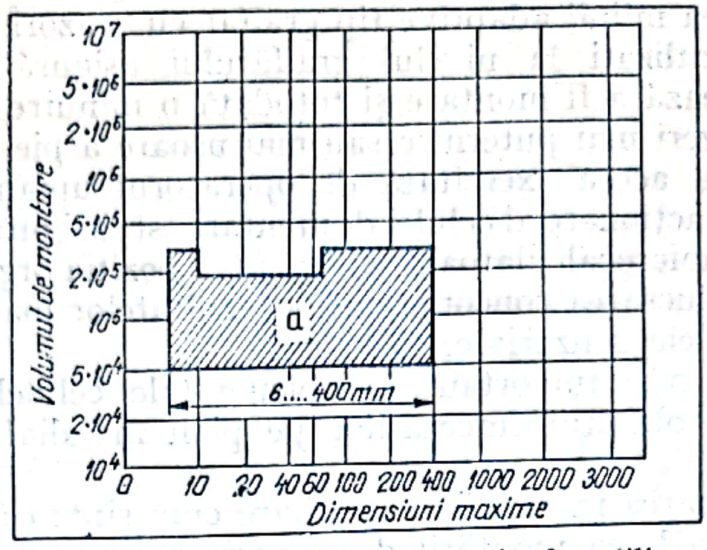


Fig. 9.66. Domeniul tehnico-economic de utilizare a celulelor flexibile de montare; a — zona de utilizare a celulelor flexibile.

funcții parțiale de comandă și reglare a proceselor complexe de asamblare. Această tendință de dezvoltare se realizează în două direcții, și anume:

— prin construcția de instalații de montare universale, programabile, de construcție modulară, pe baza tehnicii sistemelor de roboți industriali;

— prin construcția de instalații speciale de montare, programabile, în forma unui centru complet de montare cu comandă program, prevăzut cu un concept de robot special integrat.

În figura 9.66 este reprezentat rezultatul cercetărilor privind domeniul tehnico-economic de utilizare a celulei flexibile de montare dotată cu roboți industriali (domeniul de utilizare corespunde zonei „a").

9.6.1. CELULA FLEXIBILĂ DE MONTARE ROBOTIZATĂ

O celulă flexibilă de montare este constituită dintr-unul sau mai multe manipulatoare sau roboți industriali programabili, echipată cu dispozitive de prehensiune speciale tip graifere, multifuncționale, corespunzător mai multor domenii, sau sisteme de graifere și de scule interschimbabile, precum și cu capete de asamblare adaptive, prevăzute cu senzori.

Prin capete adaptive de montare se înțeleg unități constructive din cadrul celulei de asamblare, cu ajutorul cărora se realizează montarea subansamblelor printr-un procedeu repetat de „căutare și control". Premisa necesară o constituie măsurarea constantă a capacității și parțial a momentului de asamblare.

Scanned with OKEN Scanner

Constituirea celulelor flexibile de montare a condus pentru prima dată la realizarea mîinii adaptive tip graifăr cu senzori tactili.

Senzorii localizați la nivelul graifărului asigură „înregistrarea" pieselor ce urmează a fi montate și totodată o mînuire bazată pe folosirea unor strîngeri mai puternice sau mai ușoare a pieselor de montat, asemănătoare cu aceea exercitată de operatorul uman.

Sistemul de acționare al celulei de montare este asigurat prin comanda program a unor microcalculatoare, atît pentru poziția organelor de lucru, cît și pentru prelucrarea concomitentă a rezultatelor măsurărilor provenind din semnalele senzoriale.

Dintre cele mai importante probleme (ale celulelor flexibile de montare) ce fac obiectul cercetărilor pe plan mondial se evidențiază următoarele:

— perfecționarea instalațiilor auxiliare cum sînt: capetele adaptive de montare în vederea montării de precizie a pieselor de asamblat și a realizării unor mișcări de mare precizie la montare, selectoarele pentru identificarea și ordonarea pieselor în vederea pregătirii succesiunii de montare, graifere și unelte pentru diferite operații de montare a pieselor și subansamblelor părții componente ale produselor (instalații flexibile de graifer);

— strategii și metode de montare.

Roboții industriali au fost folosiți la sudarea de rezistență și cu gaz de protecție, încă din anul 1966, îndeosebi în domeniul asamblării caroseriilor în industria de automobile.

Pentru operațiile de asamblare, prin presare, în anul 1972 firma Hitachi (Japonia) a construit prima celulă flexibilă de montaj.

Succesiunea fazelor procesului de comandă privitor la poziționarea și montarea pieselor cu ajutorul sistemului de roboți pentru montare, denumit HI-T-HAND rezultă din fig. 9.67. Sistemul permite inserarea

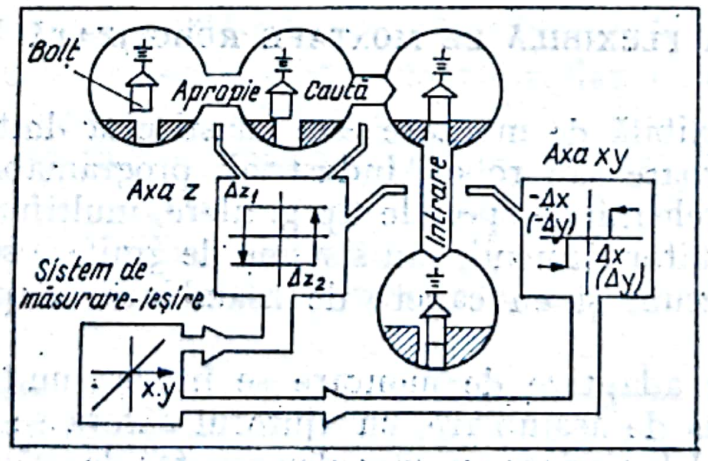


Fig. 9.67. Inserarea unui bolț în orificiu prin procedeul „căutare-control".

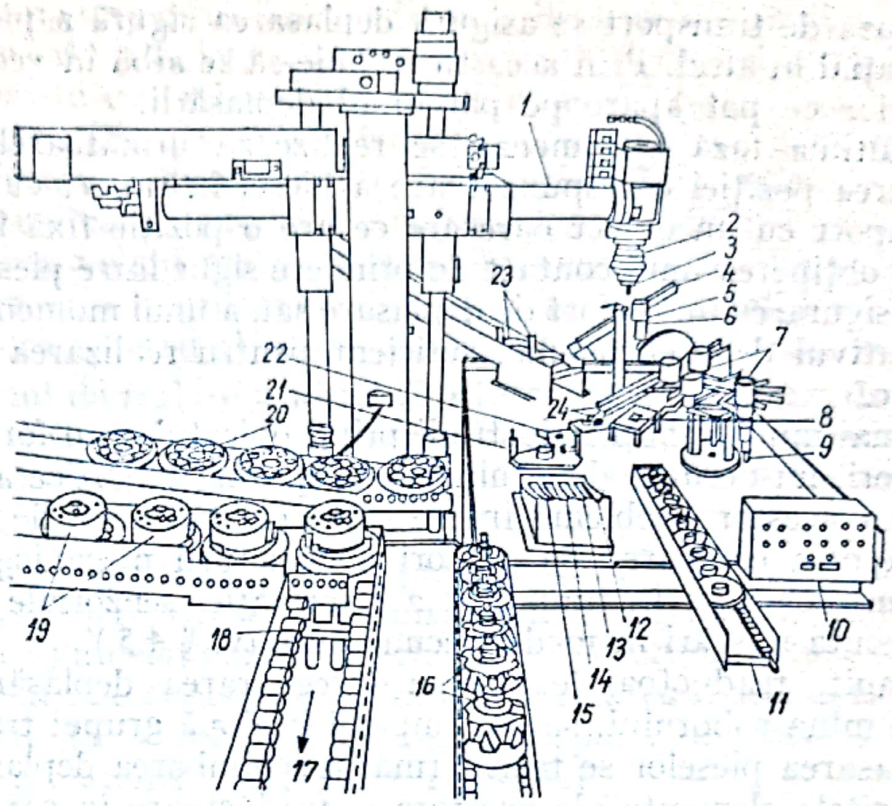


Fig. 9.68. Celula flexibilă de montaj robotizat.

unui bolț în orificiul respectiv, avînd posibilitatea să efectueze la nevoie reajustarea orificiului cu ajutorul unui cap adaptiv (o articulație elastică).

În figura 9.68 este prezentat principiul de funcționare a unei celule flexibile de fabricație de proveniență S.U.A. — Massachussets, utilizată în procesul de montare a aspiratoarelor.

Sistemul este echipat cu senzori optici și tactili, iar manipulatorul este prevăzut cu opt grade de mobilitate. Conducerea este asigurată eficient prin cuplarea a două microcalculatoare, prevăzute cu un sistem corespunzător de dialog, care prelucrează în timp real și valorifică separat datele provenite de la cele două tipuri de senzori optici și tactili.

9.6.2. UTILIZAREA INFORMAȚIILOR ASUPRA DEPLASĂRII PIESELOR ÎN OPERAȚIILE DE ASAMBLARE CU AJUTORUL ROBOȚILOR INDUSTRIALI

Convențional, comanda celor mai mulți roboți industriali se poate împărți în trei faze: prinderea piesei, transportul și faza finală (asamblarea). În prima fază de comandă robotul prinde și reține piesele fără a le deforma. În afară de aceasta, se stabilesc diferiți parametri fizici ai pieselor, precum și posibilitatea lor de deplasare. Faza se termină cu desprinderea piesei de suport.

Scanned with OKEN Scanner

În faza de transport se asigură deplasarea sigură a piesei dintr-un punct spațial în altul. Prin aceasta trebuie să se aibă în vedere evitarea obstacolelor ce pot apare pe parcursul deplasării.

În ultima fază a comenzii se realizează următoarele probleme: a) obținerea poziției corespunzătoare a piesei în raport cu alte obiecte sau în raport cu un obiect oarecare ce are o poziție fixă în spațiul de lucru; b) obținerea unui contact de prindere sigur între piesele de asamblat; c) asigurarea unui efort de deplasare sau a unui moment de răsucire în dispozitivul de prehensiune, suficient pentru realizarea operației de asamblare.

Cei mai mulți roboți industriali prind obiectul cu o forță constantă care, uneori, nu permite determinarea proprietăților fizice ale detaliilor. Rezolvarea acestor probleme impuse de cele trei faze de comandă se realizează prin echiparea cu senzori a structurii mecanice a roboților care permit folosirea în timp real a informației senzoriale pentru a se putea executa mișcări în medii necunoscute (v. § 4.5.).

Obișnuit, traductoarele pentru înregistrarea deplasării piesei în raport cu mîna robotului, se pot împărți în două grupe: traductoare în care deplasarea pieselor se transformă în schimbarea deplasării relative între diferitele elemente ale acestora și traductoare în care deplasările pieselor se transformă nemijlocit în semnale electrice.

În figura 9.69 este prezentat schematic un traductor pentru înregistrarea deplasărilor, avînd următoarele particularități: în corpul *3* al traductorului este amplasat un inel conductor de curent *2*. Acul elastic conductor de curent *1* este amplasat pe armătura *5* a solenoidului. Armătura *5* este legată prin arcul de revenire *6* cu corpul *3*, iar acul prin amortizorul *4*.

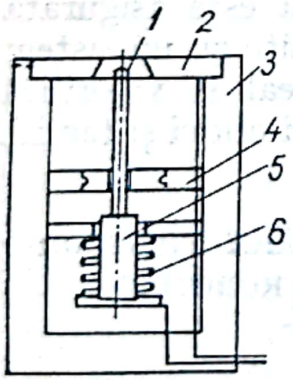


Fig. 9.69. Traductor electromecanic pentru controlul deplasărilor:
1 — ac elastic; *2* — inel; *3* — corp; *4* — ghidaj de amortizare; *5* — armătura solenoidului; *6* — arc.

În stare normală, dispozitivul se află decuplat și acul sub acțiunea arcului este atras în interiorul corpului. Prin cuplare solenoidul este atras și acul se deplasează înainte pînă ce vine în contact cu piesa prinsă în mîna robotului.

Dacă într-un moment oarecare piesa se mișcă în mîna robotului, acul se arcuiește și se atinge de inelul conductor *2* și ca urmare contactul se închide. Semnalul ajunge la un element vibrator care scoate de sub curent solenoidul și, ca urmare, sub acțiunea arcului, acul este atras în poziția inițială în interiorul corpului *3*.

După un anumit interval de timp, egal cu durata impulsului, acul avansează din nou pînă ce face contact cu piesa și, astfel, ciclul de înregistrare a deplasării piesei se repetă.

Scanned with OKEN Scanner

O problemă importantă o constituie utilizarea informațiilor la deplasările din faza de prindere a pieselor casante și ușor deformabile unde trebuie să existe o corelare între forța minimă F_{min} necesară pentru prinderea piesei și unele caracteristici ale obiectului ca: masa m și coeficientul de frecare μ dintre obiect și degetele mîinii, adică $F = f(m, \mu)$. Pentru construirea sistemului de comandă a robotului este necesar să se analizeze un volum mare de informații senzoriale, din care o parte se pot obține prin măsurarea lui F și m, iar coeficientul de frecare μ se determină ca rezultat al interacțiunii senzomotoare în faza de prindere.

Algoritmul de reglare a forței F este creat sub formă de program în limbajul FORTRAN-IV și permite determinarea caracteristicilor fizice (m și μ) ale obiectelor, precum și reglarea forței F în concordanță cu acestea.

Conform programului, la început, obiectul este apucat cu o forță minimă F_{min}, după care se determină caracteristicile lui. În cazul cînd acestea (m și μ) nu sînt cunoscute, ridicarea obiectului se face cu o viteză mică și, în afară de aceasta, se determină valoarea masei în fiecare fracțiune de timp $(T + \Delta T)$ mărindu-se corespunzător forța F astfel ca obiectul să nu alunece din mîna robotului.

Dacă în procesul de ridicare valoarea lui F nu este suficientă și obiectul se deplasează în mîna robotului, atunci se oprește ridicarea. În baza valorii $m(T)$ și F, fixate în momentul anterior începerii deplasării obiectului, se dă o valoare $\mu_1 > \mu$, adică se reglează coeficientul de frecare. În continuare forța F se reglează în raport cu valoarea coeficientului de frecare μ_1 astfel că obiectul să rămînă fixat în mîna robotului.

În figura 9.70 sînt redate curbele de reglare a forței F în cazul prinderii unor detalii cu caracteristici fizice diferite, de unde rezultă că, inițial, din momentul T_1 (fig. 9.70, *a*) se dezvoltă foarte rapid forța F_{min}, după care începe ridicarea înceată a piesei ($F_{min} = 0{,}4$ N), perioadă în care se înregistrează valoarea $m(T)$.

Pînă în momentul T_2 valoarea lui F_{min} este suficientă pentru reținerea piesei și ca urmare forța F nu crește, iar din momentul T_2 începe reglarea acesteia. Momentul T_3 corespunde desprinderii piesei de suporți. Prin repetarea prinderii acestei piese, chiar de la început, crește astfel forța F la o valoare suficientă pentru a asigura ridicarea piesei, fără ca aceasta să alunece din mîna robotului.

Piesa, care are aceeași masă m, însă alt coeficient de frecare $\mu' < \mu_1$ (fig. 9.70, *b*), în momentul T_2 de ridicare va aluneca în mîna robotului și, ca urmare, acțiunea acestuia va înceta. După aceasta procesul de reglare a forței F va începe din momentul T_4 în concordanță cu valoarea $m(T)$ și $\mu_1 > \mu'$.

Scanned with OKEN Scanner

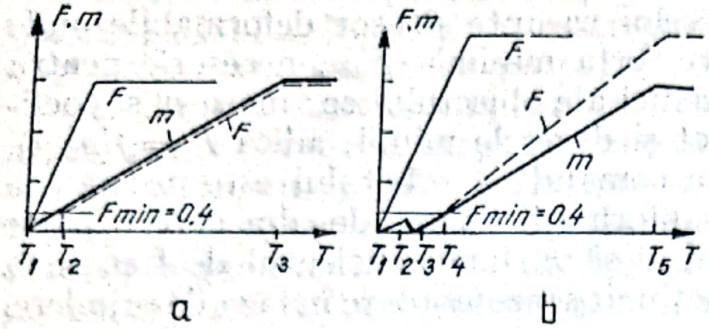


Fig. 9.70. Reglarea forței F în faza de prindere a pieselor în cazul ridicării inițiale (linie întreruptă) și a ridicării repetate (linie continuă):

a — fără alunecarea piesei din mîna robotului; *b* — cu alunecarea piesei din mîna robotului (în faza inițială)

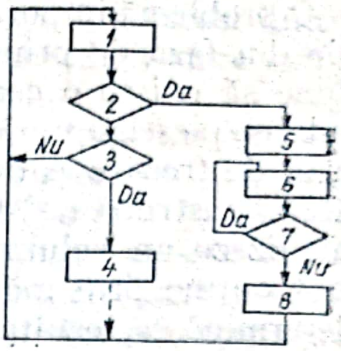


Fig. 9.71. Schema bloc a algoritmului de reglare a forței F în faza de transport a piesei:

1 — determinarea masei curente $m(T)$ a piesei; *2* — există oare alunecarea piesei?; *3* — se schimbă oare valoarea masei m?; *4* — creșterea forței F cu luarea în considerare a masei curente $m(T)$; *5* — întreruperea activității robotului; *6* — creșterea forței F în raport cu panta determinată de $m(T)$; *7* — există alunecare a piesei în mîna robotului?; *8* — reluarea acțiunii robotului.

Utilizarea informațiilor la deplasare în momentul de transport este necesară pentru o reținere sigură a piesei în mîna robotului ca urmare a unor eventuale perturbări exterioare.

Sistemul de reglare a forței F în faza de transport a piesei se îmbunătățește foarte mult în condițiile de înzestrare a robotului atît cu traductoare de deplasare cît și de momente. Schema bloc a algoritmului de reglare a forței F în această fază este redată în fig. 9.71.

Informațiile despre deplasarea pieselor în faza de transport pot fi utilizate pentru evidențierea situațiilor de avarii și de formarea semnalelor de blocare de avarie a deplasării roboților.

În ceea ce privește utilizarea informațiilor despre deplasarea pieselor în timpul operației de asamblare din faza finală, pentru comanda roboților problema suscită cercetări în continuare. Complexitatea acesteia derivă din faptul că piesa în timpul asamblării exercită o acțiune de presare asupra elementelor cu care vine în contact.

În figura 9.72 este redată schema de control a stării șuruburilor și găurilor filetate a unui complex de montaj robotizat, iar în fig. 9.73 schema bloc de sincronizare a mișcării robotului și a manetei de înșurubare, precum și de control a calității acestor îmbinări filetate.

Scanned with OKEN Scanner

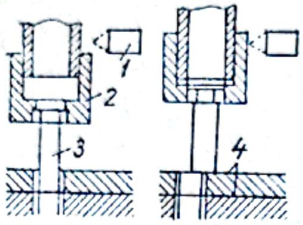


Fig. 9.72. Schema de control a coaxialității șurubului și a găurii filetate a unui complex de montaj robotizat:

1 — traductor; *2* — manetă de înșurubare; *3* — șurub; *4* — suprafețele de contact ale elementelor de îmbinat;

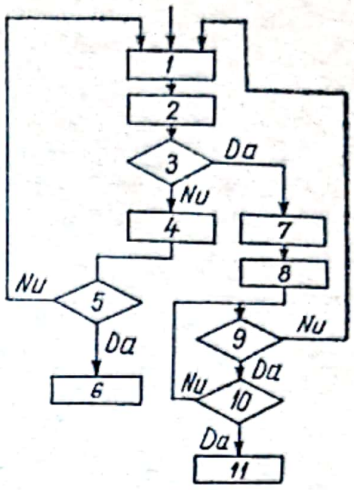


Fig. 9.73. Schema bloc de sincronizare a mișcării robotului industrial și a manetei de înșurubare la îmbinarea cu șuruburi și de control al calității îmbinărilor filetate:

1 — mișcarea de translație a manetei de înșurubare; *2* — rotirea manetei de înșurubare; *3* — există semnal de la traductorul de deplasare?; *4* — decuplarea semnalului de timp; *5* — dacă nu a atins valoarea de program; *6* — șurubul este înșurubat; *7* — cuplarea contorului de timp; *8* — întreruperea mișcării manetei de înșurubare? *9* — dacă există semnal de la traductorul de deplasare; *10* — dacă durata semnalului de deplasare este mai mare decît cea prescrisă?; *11* — șurubul nu poate fi înșurubat;

În acest caz informațiile asupra deplasării sînt utilizate pentru controlul introducerii șuruburilor în găurile filetate ale capacelor și corpul piesei de exemplu, pentru sincronizarea mișcării de translație a mîinii robotului (la înșurubare) și a vitczei de rotație a manetei de înșurubare a piuliților, precum și pentru controlul calității îmbinărilor filetate.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 10

ROBOTIZAREA ȘI CIBERNETIZAREA SECTOARELOR CALDE DIN INDUSTRIA CONSTRUCTOARE DE MAȘINI

În etapa actuală a nivelului tehnic în țara noastră, piesele turnate și cele deformate plastic au o pondere de cca. 35% din greutatea totală a produselor din construcția de mașini. Pe plan mondial sînt un număr important de mașini în care piesele obținute prin deformare plastică la cald, semicald sau rece reprezintă 60—70% din greutatea totală proprie a mașinii.

Deoarece consumurile tehnologice de metal au o importanță însemnată în cheltuielile de fabricație, în condițiile în care înlăturarea prin așchiere a adausului de metal înseamnă cheltuieli de cîteva ori mai mari decît valoarea metalului astfel consumat, se impune extinderea pe scară largă a tehnologiilor cu coeficienți de folosire a metalului de 90—100% ca: deformarea plastică la cald și la rece, forjarea și turnarea de precizie, sinterizarea etc.

La aceasta se adaugă restricțiile impuse de lipsa materiilor prime și energiei, criteriile de calitate și eficiență, care solicită astăzi mai mult decît oricînd ca în aceste sectoare purtătoare a unor mari rezerve de economii să se implementeze metodele moderne de fabricație.

Faptul că cel puțin 2/3 din economiile de metal realizate în construcția de mașini în ultimii ani provin din reducerea adausurilor de prelucrare la piese turnate și forjate, impune ca sectoarele de faricație a acestor

Scanned with OKEN Scanner

piese să capete un loc prioritar în modernizarea bazei tehnice și de producție.

Tendința de creștere masivă a ponderii pieselor turnate și forjate în ansamblul construcției de mașini în paralel cu reducerea substanțială a volumului de prelucrări prin așchiere obligă la concentrarea eforturilor pentru optimizarea raportului tone piese bune/tone metal lichid, fără a se diminua condițiile de rezistență prescrise.

Principalele căi de dezvoltare și progres tehnic ale utilajelor de bază și auxiliare din sectoarele calde (numite mai departe echipamente) evoluează în concordanță cu dezvoltarea procedeelor tehnologice pentru prelucrarea metalelor la cald. În acest sens, în ultima perioadă de timp se remarcă preocupări susținute în țările dezvoltate ale lumii, în vederea perfecționării și diversificării echipamentelor tehnologice de prelucrare prin deformare plastică la cald.

Stimularea cercetărilor în acest domeniu poate fi explicată prin importanța și avantajele deformării plastice la cald în raport cu ansamblul de procedee de prelucrare la rece.

Este cunoscut că în ramura industriei constructoare de mașini, în țările avansate industrial, eforturile de cercetare științifică și tehnologică sînt orientate în principal spre următoarele direcții:

— optimizarea formei constructive a pieselor;

— cercetări referitoare la procedeele tehnologice capabile să realizeze în modul cel mai eficient piesele proiectate.

Departe de a putea fi delimitate, cele două direcții de cercetare se întrepătrund și se completează reciproc.

Astfel, în cercetarea științifică privind dimensiunile și forma piesei se pleacă de la considerente de rezistență și de rol funcțional; acestea determinînd împreună mărimea și respectiv forma piesei.

Întrucît între considerentul funcțional și forma optimă a piesei, dar mai ales între considerentul de rezistență și mărimea piesei sînt excluse compromisurile, cercetării științifice și tehnologice îi revine rolul de a stabili, tocmai în aceste condiții, soluțiile cele mai eficiente pentru îmbunătățirea performanțelor pieselor fără a influența negativ costurile lor.

În aceste împrejurări s-a dovedit că piesele deformate plastic (forjate, matrițate, ambutisate etc.) sînt superioare ca rezistență pieselor turnate sau prelucrate prin laminare, la aceleași dimensiuni și calitate de material.

De asemenea, respectînd condiția de funcționalitate, s-a ajuns la concluzia că există mai multe variante de formă care nu modifică funcționalitatea unei piese, dar din aceste variante există numai una sau cîteva care se pot realiza prin procedeul tehnologic cel mai economic.

Scanned with OKEN Scanner

În consens cu aceste cerințe, avantajul care impune adoptarea procedeelor de prelucrare prin deformare plastică la cald, față de deformarea la rece, este determinat tocmai de faptul că deformarea la cald oferă posibilitatea aplicării ei la cea mai diversificată configurație și cea mai largă gamă de dimensiuni de piese.

Din cele arătate mai sus rezultă explicația pentru care țările industrializate au trecut încă din deceniile trecute la dezvoltarea și diversificarea largă a echipamentelor pentru prelucrarea metalelor prin deformare plastică la cald. De altfel, pînă în urmă cu peste două decenii echipamentele pentru deformarea plastică la cald se limitau, cu excepția cîtorva țări, la puține tipuri de mașini în acest domeniu din care predominau: presele cu șurub, ciocanele cu abur și un număr relativ restrîns de tipuri de prese hidraulice.

La începutul acestei perioade s-a dezvoltat industria de piese matrițate ca urmare a fabricării pe scară largă a unei game diversificate de prese și ciocane de matrițare.

Între timp au apărut necesități de prim ordin, cum este de exemplu exploatarea spațiului cosmic, care au reclamat rezolvarea unor probleme deosebite cum ar fi realizarea de piese, care să reziste deopotrivă la presiuni și temperaturi foarte ridicate, cu dimensiuni și forme din cele mai variate.

Realizarea acestor piese, în cantitățile necesare industriilor respective, a determinat atît dezvoltarea intensivă cît și extensivă a echipamentelor tehnologice pentru fabricarea lor.

Asemenea condiții au condus la apariția unor noi tipuri de mașini, cum ar fi presele de extruziune de pînă la 400 000 kN și presele de forjare liberă de pînă la 150 000 kN echipate cu mecanizări și automatizări ale operațiilor de prelucrare și ale manevrelor auxiliare.

Cu toate progresele înregistrate în ultimul deceniu, se remarcă totuși faptul că marcizarea echipamentelor tehnice de prelucrat la cald, pe ansamblu, nu a atins încă nivelul corespunzător stadiului de dezvoltare a mașinilor-unelte pentru prelucrarea metalelor prin așchiere, ceea ce creează, se pare, o injustețe economică apărută de-a lungul istoriei dezvoltării industriei constructoare de mașini.

Sintetizînd direcțiile principale spre care se orientează dezvoltarea echipamentelor pentru deformarea plastică la cald, pe plan mondial, se constată că acestea implică:

— perfecționarea echipamentelor tehnologice așa-zise clasice;

— dezvoltarea procedeelor tehnologice neconvenționale;

— cercetarea și proiectarea de noi echipamente inclusiv procedee tehnologice.

Scanned with OKEN Scanner

Perfecționarea echipamentelor tehnologice existente se caracterizează prin îmbunătățirea continuă a performanțelor utilajelor de bază astfel ca acestea să realizeze precizie în execuție și viteze de lucru tot mai mari și prin *marcizarea* operațiilor de forjare ajutătoare.

Dezvoltarea procedeelor tehnologice neconvenționale se caracterizează prin obținerea de piese prin procedee speciale ca: deformarea impulsivă în cîmp magnetic, electric și ultrasonic etc.

Cercetarea și proiectarea de noi echipamente, inclusiv procedee tehnologice, se caracterizează prin apariția de noi metode și utilaje pentru deformare plastică la cald cum sînt forjarea orbitală, matrițarea izotermă pentru produse aerospațiale și nucleare, matrițarea multidirecțională, prelucrarea prin deformare radială (axe în trepte, produse tubulare cu gaură profilată), rulare dantură (roți dințate cilindrice și conice), deformare la semicald.

În general se constată o tendință de dezvoltare a utilajelor cu parametrii superiori cum sînt presele hidraulice cu o viteză mare a cursei de lucru, precum și modernizarea preselor simple care să poată executa nu numai refulări, ci și extruderi, prin îmbunătățirea ghidajelor și redimensionarea după metode de calcul moderne.

În tratarea aspectelor principale privind robotizarea și cibernetizarea sectoarelor calde din industria constructoare de mașini, după cum s-a mai precizat (v. § 1.1), în interpretarea noțiunilor de mecanizare, automatizare, robotizare și cibernetizare (numite prescurtat *marcizare*) apar elemente de interferență și, de aceea, pentru aceste noțiuni nu sînt formulate definiții care să întrunească un consens general. În consecință, pentru o urmărire în continuare se adoptă următorul sens al noțiunilor de mai sus, chiar dacă aceste enunțuri nu vor întruni o unanimitate de vederi.

Mecanizarea reprezintă înlocuirea efortului uman de acționare a sistemelor tehnice cu instalații tehnice acționate de diferite forme de energie artificială (electrică, termică etc.) care se transformă în lucru mecanic util, după dorința și la comanda omului. Prin urmare, în procesul de mecanizare omul execută funcția de informare și comandă, în schimb mișcarea (acționarea) instalației tehnologice este asigurată de către mașina motoare.

Automatizarea reprezintă tehnica de conducere a sistemelor tehnice și de realizare a proceselor industriale fără participarea directă a omului. Prin automatizare, mișcările (operații mecanizate) se realizează de la sine, conform unui program prestabilit prin proiect, după dorința și la comanda omului care inițiază ciclul de lucru al mașinii, agregatului sau instalației. Dacă fiecare început de ciclu sau parte din ciclu este comandat de către om, se utilizează denumirea de semiautomat, iar dacă

Scanned with OKEN Scanner

ciclul se reia de la sine după efectuarea ultimei operații se utilizează denumirea de automat.

Se observă că automatizarea implică realizarea în prealabil a mecanizării.

Robotizarea reprezintă tehnica de folosire a manipulatoarelor și roboților industriali pentru mecanizarea și automatizarea operațiilor umanoide.

Se remarcă și în acest caz că introducerea robotizării se bazează pe realizarea în prealabil a mecanizării și automatizării.

Cibernetizarea reprezintă tehnica de comandă a unei mașini, instalații sau linii tehnologice prin programe înregistrate într-o memorie, care permit ca instalația să execute o succesiune de operații cu variante, funcție de restricțiile incluse în program.

Operații umanoide. Operații specifice executate de om cu utilizarea brațelor și mîinilor (picioarelor) necesitînd coordonarea prin simțul văzului.

10.1. ROBOTIZAREA ȘI CIBERNETIZAREA TURNĂTORIILOR DE METAL

Condițiile de lucru specifice care diferențiază activitatea din turnătorii în raport cu celelalte sectoare de prelucrare la cald și în funcție de care sînt adoptate diferite soluții de marcizare, pot fi sintetizate prin următoarele caracteristici mai importante:

— utilizarea și vehicularea unor mari cantități de materiale pentru fiecare tonă de piese turnate;

— folosirea unor importante cantități de materiale în vrac respectiv nisip, bentonită, materiale refractare etc.;

— desfășurarea activității în condiții de existență a zgomotului specific tehnologiei de fabricare a pieselor turnate, care folosesc mașini de formare prin scuturare, site vibratoare, dezbătătoare, instalații de curățat etc.;

— condiții de temperatură ambiantă ridicată, datorită metalului în stare topită, a cuptoarelor de topire și uscare, a pieselor în stare caldă etc.

Din analiza condițiilor de muncă specifice tehnologiilor de turnare folosite pe scară largă în turnătorii rezultă că acestea reclamă din partea muncitorilor depunerea unei activități fizice grele, fapt ce implică

Scanned with OKEN Scanner

luarea unor măsuri speciale de protecție și de igienă a muncii în sectoarele de turnătorie.

Indicatorii tehnico-economici ce se prevăd a avea o creștere spectaculoasă prin extinderea marcizării în turnătorii sînt: creșterea productivității muncii pe lucrător direct productiv, mărirea producției realizate pe suprafețele existente, reducerea suprafețelor la noile investiții etc. Aceste creșteri de ordin cantitativ sînt prevăzute a fi însoțite de îmbunătățirea calității pieselor din punct de vedere al reducerii defectelor de turnare, a preciziei dimensionale și a stării suprafețelor, reducerea în mare măsură a rebuturilor cauzate de activitățile manuale, de lipsa de ritmicitate, de neuniformitate a rețelelor de turnare etc.

Prin urmare rezultă că extinderea marcizării în secțiile de turnătorie izvorește din necesități tehnico-economice cît și din necesități sociale și ergonomice, prin rezolvarea unor probleme stringente legate nemijlocit de protecția omului.

Rezolvarea problemei pregătirii cadrelor pentru sectoarele de prelucrare la cald prin marcizare este reclamată în primul rînd de trecerea de la activități fizice grele spre activități de supraveghere, reglare, întreținere și control în condiții de eficiență economică justificată pentru fiecare caz în parte.

Marcizarea turnătoriilor de metal constă din extinderea utilizării unor utilaje și mecanisme, acționate mecanic, hidraulic, pneumatic, electric sau combinate, în activitatea de transport, manipulare sau de manutențiune a materiilor prime, materialelor, formelor sau pieselor turnate. Ca urmare se creează utilaje sau linii complexe, automatizate în sectoarele de formare-turnare-preparare, precum și grupuri de utilaje în sectoarele de șarjare-topire, miezuire și curățire-grunduire.

Robotizarea turnătoriilor de metal, pe plan mondial, în sensul introducerii în fluxul tehnologic a unor roboți capabili să efectueze mișcări a căror succesiune este comandată pe bază de programe înregistrate într-o memorie (eventual cartelă), sau pe baza unui sistem de relee și contactoare de cap de cursă, s-a dezvoltat pînă în prezent cu prioritate în următoarele direcții:

În domeniul *turnării metalelor neferoase*, robotizarea s-a aplicat la:

— operații de turnare la mașini de turnat sub presiune. În acest caz robotul preia într-o lingură metalul din cuptorul de menținere amplasat lîngă mașină și toarnă aliajul din lingură în orificiul de turnare al mașinii. Un astfel de robot deservește una sau două mașini;

— operații similare realizate de robot în cazul turnării la mașini sau la carusele pe care sînt instalate pînă la 8 mașini de turnare statică;

— operații de preluare a piesei din matrița mașinilor de turnare sub presiune, introducerea ei într-un bazin de răcire, prezentarea la

Scanned with OKEN Scanner

controlul automat privind integritatea piesei, așezarea apoi pe matrița de debavurare, urmată de așezarea într-un container sau alt sistem de evacuare al semifabricatelor;

— operații de pulverizarea matrițelor și ungerea ghidajelor mașinilor TSP.

Un exemplu de aplicație a manipulatoarelor la operațiile de manipulare la turnarea sub presiune a fost realizat și în țara noastră de către Institutul de cercetări tehnologice în construcția de mașini în colaborare cu Intreprinderea de motoare electrice București la turnarea coliviei în scurtcircuit a rotoarelor motoarelor electrice asincrone (fig. 10.1) descrisă în lucrarea [20]. În tabelul 10.1 sînt redate etapele principale ale programului și condițiile de interblocare mai importante.

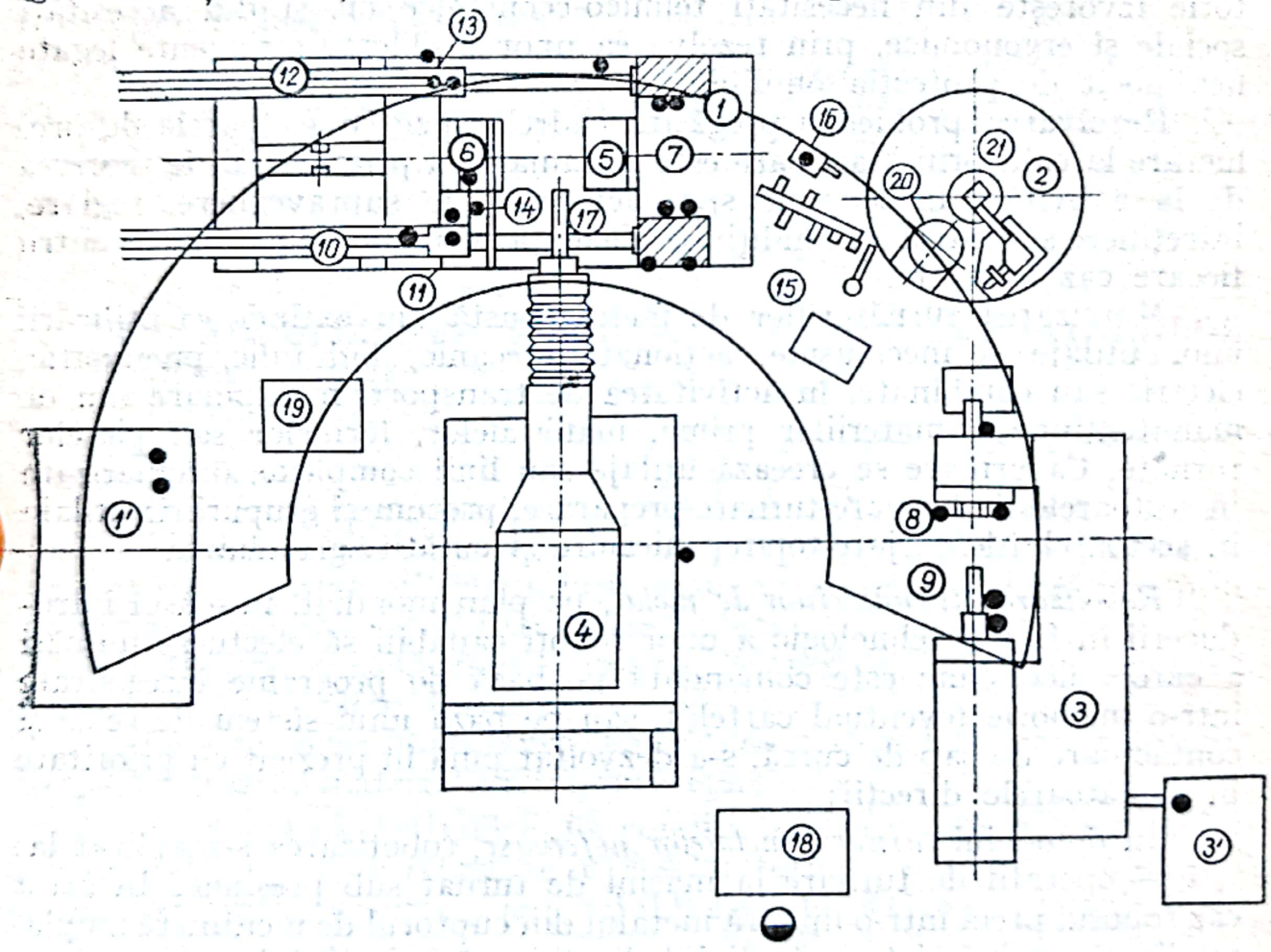


Fig. 10.1. Sistem pentru turnare sub presiune. Utilaje specifice procesului tehnologic: *1* — mașină de turnat sub presiune (CLPO150); *1'* — pupitru de comandă; *2* — cuptor de menținere; *3* — presă orizontală pentru depresat axe; *3'* — instalație hidraulică; *4* — robot industrial; *5* — matriță fixă; *6* — matriță mobilă; *7* — cilindru de turnare; *8* — placă de reazem; *9* — poanson;

Componente specifice procesului tehnologic robotizat: *10* — jgheab de alimentare; *11* — dispozitiv orientare pachet tole rotor cu ax fals; *12* — jgheab evacuare rotoare; *13* — post de evacuare; *14* — dispozitiv de acționare șaibă de extracție; *15* — magazie de scule; *16* — traductor grosime pastilă; *17* — mînă robot; *18* — pupitru de comandă; *19* — cutie de comenzi și interblocări; *20* — recipient cu lichid de ungere; *21* — lingură de turnare; traductori, limitatori de cursă.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 10.1

Etape principale ale programului și condiții de interblocare mai importante la turnare sub presiune

Nr. crt.	Etapa programului	Interblocări
1.	Robotul așteaptă orientarea rotorului cu axul fals în post	— Prezență rotor pe jgheabul de alimentare — Toate utilajele în stare de funcțiune
2.	Apucare rotor cu ax fals orientat	— Canalul de pană este orientat
3.	Aducere rotor în zona matriței	— Matrița este deschisă
4.	Introducere rotor în matrița mobilă orientat după canalul de pană	— Semnal de introducere corectă a rotorului în matriță
5.	Retragere mînă, comandă închidere matrițe	— Semnal de poziție corectă a rotorului în matriță
6.	Închiderea matriței	— Semnal „matrițe închise“
7.	Introducere șaibă de extragere	— Poziție corectă a șaibei de extragere
8.	Deplasare în zona cuptorului de menținere	— Pistonul de injecție este ridicat — Pistonul de extragere a „turtei“ este coborît
9.	Apucarea lingurii de turnare, scufundarea în aliaj, umplerea cu o cantitate dozată de aliaj	—
10.	Deplasarea mîinii cu lingura de turnare în zona cilindrului de turnare al mașinii	—
11.	Turnarea aliajului, comanda „injecției“, depunerea lingurii	— Pistonul cilindrului de injecție a efectuat întreaga cursă de coborîre
12.	Apucarea dispozitivului de extragere a „turtei„	— Pistonul cilindrului de turnare este ridicat
13.	Aducerea dispozitivului deasupra cilindrului de turnare	—
14.	Comandă ridicare piston extragere „turtă“ Prinderea turtei în dispozitivul de extragere a „turtei“	— Pistonul de extragere a efectuat cursa de ridicare completă
15.	Transportul turtei la dispozitivul de control al grosimii turtei	— Turta are grosime corespunzătoare = procesul de turnare a fost corect = aliajul din cuptor este deasupra nivelului minim
16.	Evacuarea turtei și depunerea dispozitivului	—

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 10.1 (continuare)

Nr. crt.	Etapa programului	Interblocări
17.	Comandă deschiderea matriței, scoaterea șaibei de extragere	— Semnal de deschidere matriță și de șaibă extrasă
18.	Apucare rotor și extragere din matriță	— Semnal de extragere a rotorului din matriță
19.	Deplasare rotor la presa de depresare	— Semnal „presă deschisă“
20.	Așezare rotor pe dispozitivul presei și comanda de presare	— Poziția corectă a rotorului în dispozitivul presei
21.	Extragerea axului fals din rotor și evacuarea lui în container	— Semnal de evacuare ax fals și de prezență a culeei în capul axului fals
22.	Evacuarea rotorului pe jgheabul de evacuare	— Semnale de prezență a rotorului pe jgheab
23.	Deplasarea mîinii la magazia de scule. Apucarea dispozitivului de prindere a periilor	—
24.	Apucare perie I, umectare în vasul cu lichid de ungere, ungerea pistonului de injecție, depunerea periei	—
25.	Apucare perie II, umectare în vasul cu lichid de ungere, ungerea cilindrului de injecție, depunerea periei	—
26.	Apucare perie III, umectare în vasul cu lichid de ungere, ungerea locașului matriței, depunerea periei	—
27.	Apucare perie IV, umectare în vasul cu sticlă solubilă și zinc-weiss, ungerea zonei culeei din matriță, depunerea periei	—
28.	Depunerea dispozitivului de apucare a periilor	—
29.	Revenirea mîinii robotului în zona postului de orientare al jgheabului de alimentare	—
30.	SFÎRȘIT DE PROGRAM	— Reluarea programului în cazul în care se lucrează pe ciclu automat continuu și sînt satisfăcute condițiile de interblocare.

Scanned with OKEN Scanner

În domeniul *turnării metalelor feroase (fonte și oțeluri)* nu s-a recurs, în general, la extinderea robotizării. Inoportunitatea robotizării în acest caz se explică prin multitudinea operațiilor și a materiilor prime și auxiliare folosite în circuitul productiv precum și spațiilor mari necesare turnătoriilor de fonte și oțeluri, care au condus la construirea unor mașini sau linii automate de formare-turnare și respectiv miezuire, deservite de mijloace de transport continue de lungime mare (conveioare, benzi rulante, transportoare suspendate cu lanț). Specificul tehnologiilor de topire-elaborare, caracterizat prin durate lungi ale șarjelor, precum și prin imposibilitatea asigurării în timp a unor materiale de fuziune cu compoziție constantă ce implică în mod inevitabil necesitatea efectuării de corecturi, a constituit un inconvenient major în calea robotizării acestor secții.

Totuși, la veriga dezbatere-curățitorie s-au găsit unele operații robotizabile, caracterizate printr-o anumită succesiune de mișcări mecanice preluată de manipulatoare. De asemenea, roboții și-au găsit utilizare în turnarea de precizie în forme coaje, prin prezentarea și rotirea în diverse planuri a ciorchinelui, sub ploaia de nisip cuarțos.

În concluzie, pe plan mondial pînă în prezent robotizarea s-a introdus în turnătoriile de metal, cu precădere acolo unde caracterul producției de serie (mare sau de masă) a condus la realizarea unor cicluri tehnologice repetabile, care nu necesită introducerea unor elemente de automatizare cu un grad de flexibilitate ridicat.

Pe baza analizei proceselor tehnologice și a caracteristicilor ergonomice a posturilor de deservire a diverselor mașini și instalații de turnătorie se poate face o clasificare a roboților industriali și a manipulatoarelor automate pentru deservirea utilajelor de turnătorie după cum urmează:

1) *Roboți industriali cu programare selectivă pentru o gamă largă de operații*, ca: montarea miezurilor, asamblarea ciorchinilor la turnarea cu modele ușor fuzibile, vopsirea formelor sau a miezurilor, extragerea pieselor din forme, polizarea pieselor din forme sau sortarea pieselor.

2) *Roboți specializați cu programare comandată* pentru: extragerea pieselor turnate sub presiune, așezarea pieselor în presa de debavurat și pentru tăierea rețelelor de turnare, așezarea formelor coji la locul de turnare; așezarea sau ridicarea ramelor de formare, formarea ciorchinelor.

3) *Manipulatoare automate, pentru utilizări mai restrînse (monooperaționale)*, ca: turnarea în cochilii sau mașini de turnat sub presiune, extragerea pieselor din cochilii sau mașini TSP și așezarea lor pe transportor, vopsirea de protecție a formelor, vopsirea antiaderentă

Scanned with OKEN Scanner

a plăcilor de model, schimbarea plăcilor de model, ridicarea ramelor de formare etc.

În curînd se prevede realizarea de roboți industriali și manipulatoare automate folosiți la: operația de topire-elaborare pentru îndepărtarea zgurei, agitarea metalului sau pentru luarea probelor, la operația de formare, pentru: montarea și lipirea miezurilor, asamblarea și desamblarea cutiilor de miez; vopsirea formelor, la operația de dezbatere pentru sortarea pieselor și așezarea lor pe transportoare, la operația de curățitorie pentru încărcarea pieselor în mașinile de sablat și dirijarea direcției de sablare.

Automatizarea funcționării mașinilor, la operațiile mai sus arătate, va conduce la eliminarea subiectivismului execuției acestora de către lucrători, va ridica indicele de utilizare a mașinilor ca rezultat al intensificării ciclului tehnologic, reducerea rebuturilor cu toate efectele economice favorabile ce decurg din aceasta și asigurarea pe această cale în turnătorii a unor condiții optime de muncă. Calitatea pieselor turnate este net ameliorată în comparație cu rezultatul obținut manual în condițiile în care se evită o prelucrare suplimentară de finisare.

Cibernetizarea turnătoriilor de metal pe plan mondial se poate spune că este avansată în contextul automatizării liniilor de formare-turnare, dezbatere sau miezuire care sînt comandate de un program înregistrat într-o memorie.

Un pas înainte îl constituie cibernetizarea depozitelor intermediare de miezuri, organizate pe transportor suspendat cu lanț avînd cărucioare sub formă de rastele.

Problema unei cibernetizări complete s-a pus pînă în prezent numai pentru turnătoriile cu producție de masă și cu un număr relativ mic de repere de pînă la 25 bucăți. În acest caz se realizează o cibernetizare totală a verigilor formare-turnare-dezbatere-miezuire-curățire-tratament termic și în anumite condiții (calitate relativ constantă a materialelor de fuziune) și a secțiilor de depozitare a materialelor de fuziune.

Marcizarea și automatizarea în sensul prezentat sînt aplicate și în cadrul turnătoriilor din țara noastră, în funcție de caracterul programului de producție și de specificul tehnologiei folosite.

Dacă cibernetizarea apreciată în echivalență cu automatizarea unei linii de formare-turnare-dezbatere se poate spune că se aplică și în țara noastră, robotizarea însă nu s-a aplicat decît în măsură mai mică, un exemplu fiind în cazul turnării statice a pieselor auto la Întreprinderea de Autoturisme din Pitești.

Scanned with OKEN Scanner

Direcțiile de acțiune în vederea dezvoltării marcizării în turnătoriile din economia națională, în concordanță cu realizările pe plan mondial, sînt următoarele:

— extinderea mecanizării prin perfecționarea soluțiilor tip utilizate pînă în prezent, mărirea fiabilității și robusteții mecanismelor, mărirea ușurinței de întreținere, crearea posibilităților de reparare prin schimbarea unor subansamble întregi și nu a anumitor piese individuale ale utilajelor, reducînd în acest fel timpii de staționare, precum și înlocuirea soluțiilor ce implică consumul unor mari cantități de energie;

— continuarea automatizării operațiilor de formare prin montarea liniilor automate modernizate de formare în turnătoriile noi precum și automatizarea unor linii mecanizate existente în cadrul acțiunii de modernizare a turnătoriilor (v. § 10.4).

Vor intra în sfera automatizării de asemenea și alte activități ca: alimentarea cu metal a cuptoarelor cu inducție, turnarea pe liniile mecanizate și automatizate, turnarea în cochile și în mașinile de turnare sub presiune etc.

Se va mări siguranța în funcționare a sistemelor automate, prin crearea unei aparaturi specializate, care să reziste în condițiile de lucru grele din turnătorii.

Se vor introduce roboți industriali și manipulatoare la locurile de muncă (pentru care în tehnica mondială s-au creat posibilități de aplicare). Astfel, se vor utiliza roboți industriali pentru deservirea mașinilor de turnare sub presiune și a mașinilor de manevrat cochile și eventual la turnătoriile de precizie pentru realizarea cojilor ceramice.

În locurile de muncă cu nocivitate ridicată vor fi introduse manipulatoare, ca de exemplu dezbaterea formelor la producția de serie mică și unicate, polizarea pieselor mijlocii și mari etc.

Cibernetizarea turnătoriilor de metal are la bază tendința generală de a considera turnătoriile marcizate ca reprezentînd un ansamblu corelat de mașini, utilaje, instalații și oameni care formează împreună un sistem cibernetico-industrial.

O astfel de abordare sistemică a turnătoriilor permite realizarea unei optimizări a procesului de producție în sensul menținerii constante a fluxului tehnologic de producție, o utilizare rațională a mijloacelor de producție și eliminarea eventualelor gîtuiri și, nu în ultimă instanță, proiectarea rațională a elementelor de marc în concordanță cu planul de producție impus [124].

Pentru rezolvarea acestor probleme se poate proceda la întocmirea unui model sistemic, pe care să se poată aplica teoria grafurilor, folosindu-se în acest context mașinile electronice de calcul. Asociind graful unui astfel de sistem cibernetico-industrial, vîrfurilor acestuia îi vor

Scanned with OKEN Scanner

corespunde elementele, iar arcelor legăturile acestuia. Modelul sistemic al turnătoriei (MSGT) permite în acest mod să se utilizeze legăturile cunoscute la un moment dat și să se stabilească altele noi ce decurg din analiza calitativă a modelului.

MSGT se compune dintr-o parte tehnologică, descrisă de un graf tehnologic-operațional (GTO), care reprezintă un model sistemic al părții plastice și dintr-o parte ce ține seama de elementele de MARC, descrisă de un graf tehnologic de agregare (GTA), care constituie modelul sistemic al părții scheletice.

La graful GTO vîrfurile reprezintă operațiile tehnologice, iar arcurile operațiile de transport, forma sa fiind arborescentă. Grafurile separate se pot uni într-un graf GTO general al modelului sistemic al turnătoriei.

Pentru evaluarea cantitativă a grafului se alcătuiește o *matrice de necesitate*, la care rîndurile corespund materialelor necesare, iar coloanele operațiilor respective. În aceste condițiuni, la intersecția liniei i, cu coloana j se indică cantitatea materialului i necesară pentru operația j.

Ca în cazul oricărui model sistemic, și în cazul celui pentru turnătorie, descris de un graf de tip arborescent [124], se poate distinge

$$\begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1j} & \dots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2j} & \dots & Z_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{i1} & Z_{i2} & \dots & Z_{ij} & \dots & Z_{im} \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nj} & \dots & Z_{nm} \\ Z_{p1} & Z_{p2} & \dots & Z_{pj} & \dots & Z_{pm} \end{vmatrix}. \qquad (10.1)$$

Din analiza cantitativă a acestei matrice se poate stabili structura elementelor de marc (mașini, utilaje, instalații universale și specializate) pentru fiecare material și operație.

În cazul utilajelor universale necesitățile pentru prelucrarea fiecăruia din materiale se însumează și se introduc în ultimul rînd al matricei.

Modelul pentru cea de a doua parte a sistemului se construiește cu ajutorul tabelului de utilaje, care decurge din matricea de necesitate, iar în cazul proiectării se folosesc cataloage, prospecte etc.

Pe baza tabelului de utilaje, se elaborează graful tehnologic de agregare (GTA); vîrfurile acestuia corespunzînd utilajului tehnologic, iar arcurile—instalațiilor și mașinilor de transport.

Analiza grafului se face cu ajutorul *matricei de concordanță*, în care la intersecția rîndurilor cu coloanele se află coeficientul reprezentat de raportul dintre necesitatea în materiale și capacitatea utilajelor insta-

Scanned with OKEN Scanner

late. În acest caz, valorile coeficienților mai mari sau egali cu unitatea indică prezența *elementului critic*. Analiza poate fi mai operativă dacă GTA este construit în formă *paralel-etajată*.

În acest mod pe baza modelului sistemic complet, construit cu ajutorul GTO și GTA, se poate face analiza cantitativă a elementelor separate ale subsistemelor și ale sistemelor după cîteva direcții, în funcție de scopul urmărit, realizîndu-se totodată reglarea sau comanda sistemului.

MSGT poate fi raportat la clasa sistemelor mari, astfel că pentru descrierea turnătoriei pot fi construite modelul de comandă, modelul fluxurilor informaționale și modelul sistemic tehnologic. Modelul sistemic astfel construit fiind descris de un graf tip arborescent, va exista o origine a sistemului (sursă), reprezentată de intrarea materialelor și un debit la ieșire, alcătuit din piese turnate (semifabricate).

Condițiile construirii și funcționării raționale a modelului sistemic pot fi formalizate matematic astfel:

1) *Condiția structurii raționale.* Structura MSGT este reprezentată de mulțimea A corespunzînd următoarele subsisteme: topire B, prepararea amestecurilor de formare C, de pregătire a fabricației D, de miezuire E, de formare K și de operații finale (dezbatere, curățire) H.

Se poate deci scrie

$$A = B \cap C \cap D \cap E \cap K \cap H \tag{10.2}$$

2) *Condiția funcționării raționale.* Pentru domeniul de funcționare rațională a procesului tehnologic în cadrul MGST se impun condițiile

$$\Sigma m = \Sigma n + \Sigma z \tag{10.3}$$

în care m reprezintă cantitatea de materii prime intrată în sistem într-o anumită unitate de timp, n cantitatea de semifabricate ieșite, iar z cantitatea de reziduuri și pierderi.

Acest proces se realizează prin introducerea în sistem a energiei E, care se transformă în lucru mecanic a și variației stării interne a sistemului u condiționată de uzarea elementelor

$$E = \Sigma a + \Sigma u. \tag{10.4}$$

3) *Condiția procesului tehnologic rațional.* Obținerea variantei raționale a procesului tehnologic se determină cu cheltuielile minime pentru toate transformările tehnologice comparînd toate variantele tehnologice posibile de aplicat pentru obținerea pieselor turnate.

Scanned with OKEN Scanner

4) *Condiția necesarului de materie primă.* Pentru o anumită producție dată de piese turnate n, necesitățile în fiecare ingredient V în unitate de timp τ se obțin cu ajutorul formulei

$$V_s = \frac{q_s n}{\tau} \tag{10.5}$$

în care q_s reprezintă consumul de ingredient pe o tonă de piese.

5) *Condiția capacităților raționale a agregatelor.* Capacitățile utilajelor pentru fiecare material separat și la prelucrarea laolaltă a cîtorva ingrediente se determină cu următoarele ecuații

$$\begin{aligned} m_1(x_i) &= \frac{1}{\eta_i} V_1 \\ m_2(x_i) &= \frac{1}{\eta_i} V_2 \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ m_m(x_i) &= \frac{1}{\eta_i} V_m \end{aligned} \tag{10.6}$$

$$\sum_{j=p}^{r} m_j(x_i) = \frac{1}{\eta_i} \sum_{j=p} V_j \text{ pentru } 1 \leq p \leq r \leq m$$

în care $m_j(x_i)$ reprezintă capacitatea utilajului de ordinul i, necesară pentru prelucrarea ingredientului de ordinul j, iar η_i coeficientul de utilizare a utilajului.

6) *Condiția de conexiune a sistemului.* Pentru fiecare vîrf x diferit față de cel inițial, cantitatea de material care intră este egală cu cea care iese

$$\sum_{u \in U_x^-} \varphi(u) - \sum_{u \in U_x^+} \varphi(u) = 0. \tag{10.7}$$

Suma mărimilor fluxurilor ieșind din vîrfurile etajului nul este egală cu suma mărimilor fluxurilor, care intră în vîrfurile ultimului etaj

$$\sum_{u \in U_0^+} \varphi(u) = \sum_{u \in U_r^-} \varphi(u). \tag{10.8}$$

Scanned with OKEN Scanner

7) *Principiul concordanței (sau corespondenței).* În orice moment necesitatea în materiale trebuie să fie mai mică decît aceea corespunzătoare capacității agregatelor

$$V(x) < m(x). \tag{10.9}$$

Pentru sistemul de transport

$$\varphi(u) < c(u). \tag{10.10}$$

Nerespectarea acestei condiții conduce la crearea în sistem a locurilor înguste $V(x) > m(x)$ sau $\varphi(u) > c(u)$ și de asemenea a elementelor critice cînd $V(x) = m(x)$ sau $\varphi(u) = c(u)$.

8) *Condiția secțiunii minime.* În conformitate cu teorema Ford-Fulkerson, debitul în orice secțiune a subsistemului trebuie să fie același cu cel de la ieșirea din acesta. Pentru sistemul de transport

$$\sum_{u \in U_s^-} c(u) \geqslant \sum_{u \in U_r^-} c(u). \tag{10.11}$$

Pentru utilajul tehnologic

$$\sum_{x \in A_s} m(x) = \sum_{x \in A_r} m(x). \tag{10.12}$$

9) *Condiția de funcționare neîntreruptă a sistemului.* Consumul de materiale sau al semifabricatelor este direct proporțional cu capacitatea utilajelor

$$R = \eta m(x). \tag{10.13}$$

În situația în care în sistem se găsesc elemente cu acțiune periodică este necesar să se instaleze elemente de rezervă.

10) *Condiția de reglare prin conexiune inversă.* Pentru reglarea parametrilor variabili din MSGT cum sînt modificările de plan, nomenclatura de piese etc., se impune adoptarea sistemului de reglare prin conexiune inversă în care rolul de regulator al sistemului îi revine, direct sau indirect, omului. Reglarea se realizează după trei parametri: variația cantității, a calității și intensificarea elementelor din sistem.

10.2. ROBOTIZAREA ȘI CIBERNETIZAREA SECȚIILOR DE FORJE

Un loc important în dezvoltarea sectoarelor calde îl ocupă secțiile de forje; mutațiile calitative în aceste secții sînt caracterizate de creșterea volumului pieselor deformate în matrițe în dauna celor obținute

Scanned with OKEN Scanner

prin forjare liberă, ajungîndu-se în această privință la peste 70%. Se dezvoltă în aceste secții tendința de ridicare a preciziei pieselor matrițate prin adoptarea procedeelor de matrițare fără bavură, extrudere la cald, semicald sau rece, matrițare a semifabricatelor sinterizate etc.

Indicatorul mediu de folosire a metalului pentru realizarea pieselor matrițate în industria constructoare de mașini]18] se prezintă în felul următor:

— consumul de metal pentru piesa matrițată 100%
— masa piesei finite 51%
— pierderi (oxizi, bavuri, așchii) 49%

Deoarece, pentru realizarea pieselor forjate liber situația este mai defavorabilă, pe ansamblu, se poate estima că pentru realizarea pieselor forjate sau matrițate se consumă în plus o cantitate de oțel care variază între minimum 5% și maximum 70%.

Ca urmare, strategia dezvoltării secțiilor de forje în țara noastră se bazează pe diversificarea și modernizarea tehnologiilor avansate care să conducă la productivități sporite și la un indice de utilizare a metalului foarte ridicat. În mod deosebit se vor dezvolta tehnologiile de formare plastică în matriță, iar în domeniul forjării libere forjarea pe piese hidraulice în condițiile unor adausuri de prelucrare și toleranțe strînse. Pentru a ilustra tendințele de progres menționate mai sus se va exemplifica din preocupările specialiștilor din cadrul secției de forje a Institutului de Cercetare Științifică, Inginerie Tehnologică și Proiectarea Sectoarelor Calde (I.C.S.I.T.P.S.C.), o aplicație cu robot industrial la forjarea pe ciocan matrițor.

Motivarea alegerii acestui tip de proces a fost determinată de numărul mare de ciocane matrițoare (70%) existent în dotarea parcului de utilaje, complexitatea problemelor legate de manipularea semifabricatelor și pieselor finite, de poziționarea acestora în posturile de lucru ale utilajelor, de controlul și comanda unor parametri tehnologici, precum și de schimbul continuu de informații, în timp real, între robot și utilajele componente ale sistemului.

Dificultățile suplimentare mai deosebite, specifice procesului de forjare-matrițare pe ciocan matrițor, în raport cu alte procese tehnologice, sînt următoarele:

— să urmărească mișcarea oscilatorie a șabotei ciocanului matrițor și să asigure în permanență poziționarea precisă a semifabricatului în locașul matriței;

— în vederea protejării robotului, la încheietura dintre braț și mînă acesta trebuie să fie prevăzut cu un dispozitiv de amortizare a șocurilor ce apar în timpul loviturilor;

— protejarea mîinii robotului, în cazul smulgerii piesei matrițate, atunci cînd aceasta se lipește de matrița superioară;

Scanned with OKEN Scanner

— prevenirea unor avarii în cazul cînd piesa nu este corect poziționată în bacurile mîinii, prin posibilitatea opririi automate a programului;

— protejarea bacurilor și a mîinii robotului împotriva supraîncălzirii.

Din figura 10.2 se exemplifică sistemul de alimentare automată cu robot Unimate 2000 a operațiilor de forjare pe ciocan matrițor.

Grupul de forjare se compune dintr-o instalație de încălzire CIF *1*, robotul industrial *2* echipat cu dispozitivul de apucare al piesei *3*, ciocanul matrițor *4*, presa hidraulică de debavurat *5*, instalația de ungere *6* și instalația de răcire *7*.

Piesa încălzită de instalația CIF *1* la temperatura prestabilită este preluată de robotul *2* și transportată la ciocanul matrițor *4* unde în primul cuib se execută preforjarea, piesa fiind ținută în mîna mecanică a robotului. După executarea unei bătăi de către ciocan, piesa este rotită de robot cu 90°; o nouă bătaie, urmează din nou o rotire cu 90°

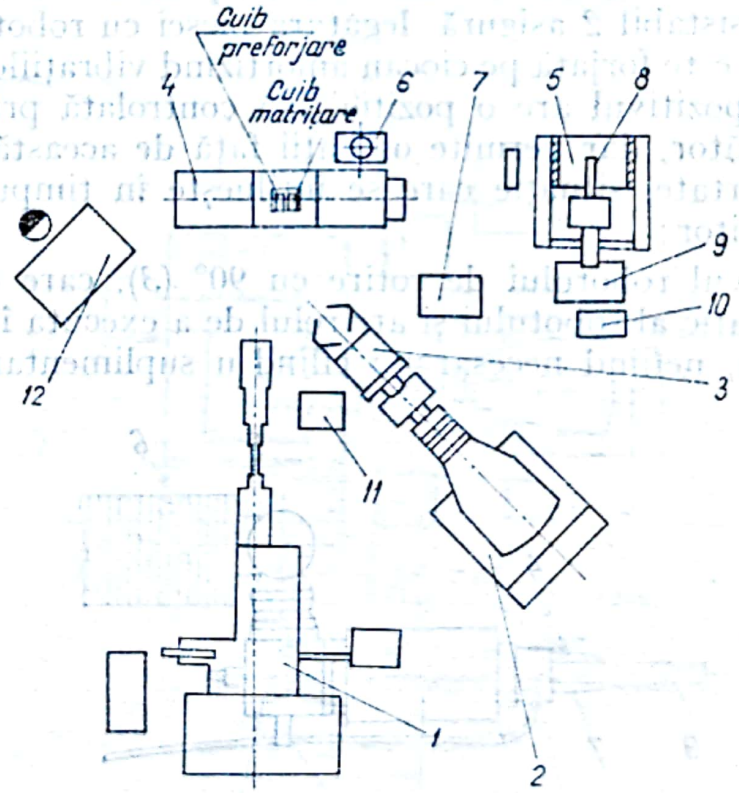


Fig. 10.2. Sistem de robotizare a operațiilor de forjare liberă pe ciocan matrițor:

1 — instalație de încălzire CIF; *2* — robot; *3* — dispozitivul de prindere al piesei; *4* — ciocan matrițor; *5* — presă hidraulică de debavurat; *6* — instalație de ungere; *7* — instalație de răcire; *8* — dispozitiv de extragere a piesei din matriță; *9*, *10* — containere.

Scanned with OKEN Scanner

și apoi se transferă piesa în cuibul al, doilea unde se execută calibrarea controlată în închiderea matriței.

De la ciocanul matrițor piesa este trecută de către robot la presa hidraulică de debavurat *5*, care o decupează din bavura ce rămîne în mîna robotului. Piesa forjată este scoasă din matrița de debavurare de dispozitivul de extragere *8*, acționat pneumatic și care o împinge în containerul *9*.

Bavura din mîna robotului este evacuată în containerul 10, după care mîna se răcește în instalația de răcire *7* și ciclul se reia de la început.

Dacă preluarea piesei de la CIF nu se face la temperatura prescrisă, aceasta este evacuată în containerul *11*. Instalația de automatizare *12* asigură interblocarea robotului cu utilajele ce compun sistemul.

Dispozitivele principale folosite în cadrul celulei de forjare sînt următoarele (fig. 10.3):

— dispozitivul robotului de prindere a piesei *1*, care sesizează prezența piesei și permite ciclul de lucru al robotului numai dacă aceasta se găsește fixată în dispozitiv. El este strîns în permanență de arcuri, piesa fiind introdusă între cele trei bancuri prin deformarea arcurilor; dispozitivul cvasistabil *2* asigură legătura piesei cu robotul în momentul în care piesa este forjată pe ciocan amortizînd vibrațiile dintre ciocan și fundație. Dispozitivul are o poziție fixă controlată prin arcuri încadrate corespunzător, dar permite oscilații față de această poziție după 4 grade de libertate, situație care se întîlnește în timpul funcționării ciocanului matrițor;

— dispozitivul robotului de rotire cu 90° (*3*), care este cuplat la cilindrul pneumatic al robotului și are rolul de a executa în mod normal strîngerea piesei, nefiind necesar un cilindru suplimentar;

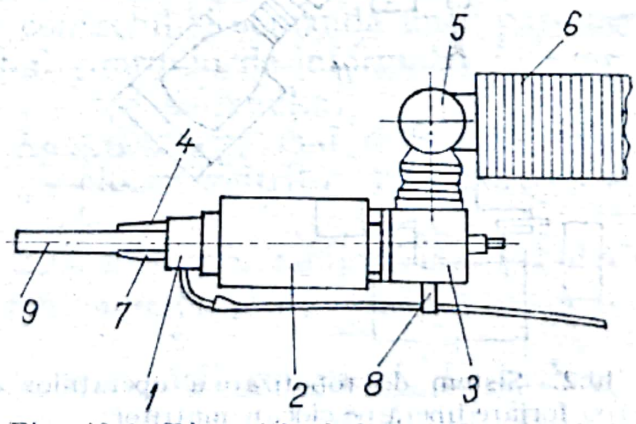


Fig. 10.3. Dispozitivul de prindere a piesei:
1 — mînă robot; *2* — dispozitiv de poziționare; *3* — modul de rotire cu 90°; *4* — banc mobil; *5* — articulație mînă robot; *6* — braț robot; *7* — banc fix; *8* — traductor; *9* — semifabricat.

Scanned with OKEN Scanner

— dispozitivul de acționare al ciocanului matrițor, compus dintr-un cilindru pneumatic care acționează pedala;

— instalația de ungere, care are rolul de a asigura ungerea cu ulei a semimatrițelor prin pulverizarea uleiului la 60 ... 80 bari;

— instalația de răcire, prevăzută cu un bazin de nivel constant în care se răcește mîna robotului;

— dispozitivul de evacuare piese din presa de debavurat, prevăzut cu cilindru pneumatic care împinge piesa printr-un jgheab în containere.

În mod asemănător a fost organizat un grup de fabricație deservit de un robot Unimate 2000, pentru manipularea pieselor la matrițarea de precizie și sintermatrițare.

După cum rezultă din fig. 10.4 semifabricatele de lungimea corespunzătoare se încălzesc în instalația CIF *1*, iar la atingerea temperaturii prestabilite sînt transportate de robotul *6* la presa *2*, unde se preforjază. Se întorc apoi cu 180° și sînt transferate în al doilea cuib al matriței, unde se calibrează la a doua bătaie a presei.

În cazul în care semifabricatele nu corespund ca dimensiune sau temperatură, ele sînt scoase din flux și depozitate în containerele *4*,

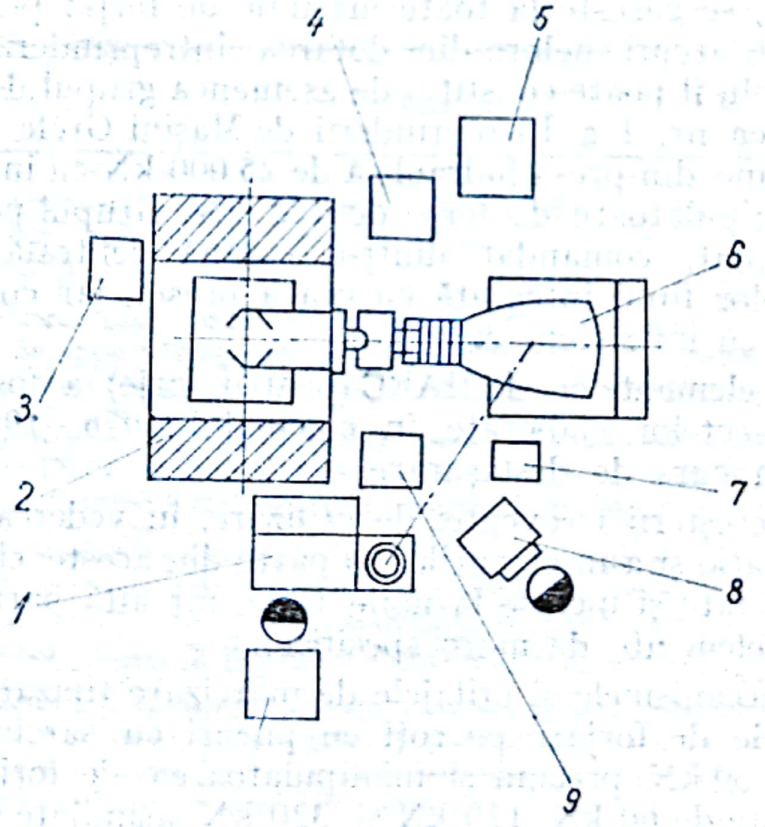


Fig. 10.4. Robotizare industrială la matrițarea de precizie și sintermatrițare:

1 — instalație CIF; *2* — presă; *3* — instalație de ungere; *4, 5* — containere; *6* — robot; *7* — cutie de conexiune; *8* — panou de simulare; *9* — instalație de răcire.

Scanned with OKEN Scanner

iar în containerul *5* sînt depozitate piesele bune. Mîna robotului este răcită în instalația de răcire *9*, după fiecare manipulare a pieselor calde. Înainte de forjare cuiburile matriței sînt unse cu ajutorul instalației de ungere *3*. Cutia cu conexiuni *7* și panoul de simulare *8*, servesc la conectarea robotului în sistem.

În cazul folosirii sistemului la sintermatrițare, matrița este prevăzută cu un singur cuib. Dispozitivele folosite sînt următoarele:

— dispozitivul de apucare a piesei, care trebuie să permită atît apucarea semifabricatului brut cît și a celui preforjat și a piesei finite;

— instalația de ungere, care funcționează cu acționare pneumatică, permițînd pulverizarea uleiului la o presiune de (60 ... 80) bari și deplasarea duzelor în vederea ungerii semimatrițelor superioară și inferioară;

— instalația de răcire, prevăzută cu un bazin de nivel constant în care se scufundă mîna robotului. Nivelul și temperatura sînt controlate automat.

În țara noastră robotizarea se folosește în prezent ca o componentă a proceselor automatizate, constituind, de regulă, un modul al automatizării. Ca urmare, robotizarea poate fi regăsită la grupuri de forjare și în special la mașinile specializate sau la prese hidraulice mari de forjare. Astfel, se găsește la toate mașinile de forjat piulițe, șuruburi, rulmenți, inele, arcuri inelare din dotarea întreprinderilor respective.

Un exemplu îl poate constitui de asemenea grupul de forjare liberă de la forja grea nr. 1 a Întreprinderii de Mașini Grele din București, care se compune din presa hidraulică de 25 000 kN cu instalațiile auxiliare și 2 manipulatoare de forje de 125 kN. Grupul poate funcționa complet automat, comandat dintr-o cabină centrală, funcționarea manipulatoarelor fiind integrată cu cea a presei, iar controlul dimensional se face cu un sistem digital.

Folosirea elementelor de MARC (pentru forje) a fost larg extinsă în cadrul proiectelor elaborate în cincinalul 1976—1980, precum și în cel aflat în curs de desfășurare.

Datorită creșterii frecvenței de utilizare, în vederea reducerii costului de fabricație și a importurilor, o parte din aceste elemente au fost tipizate, proiectate și incluse la noile forje, iar altă parte proiectate și prevăzute ca elemente de marc specifice.

Printre mecanismele și utilajele de marcizare tipizate se numără și manipulatoarele de forjare pe roți cu pneuri cu sarcina în clește de 5 kN, 10 kN și 30 kN, precum și manipulatoarele de forjare pe șină cu sarcina în clește de 60 kN, 120 kN și 320 kN, asimilate sau în curs de asimilare la Intreprinderea Mecanică din Timișoara.

Din analiza ponderii și structurii utilajelor de bază din secțiile de forje (noi și modernizate), prevăzute în programul global de dotare cu

Scanned with OKEN Scanner

elemente de marc întocmit de către ICSITPSC, rezultă că în prezent manipulatoarele reprezintă elementul principal al marcizării secțiilor de forjare. Datorită multiplelor posibilități de utilizare, ca urmare a numărului mare de grade de mobilitate de care pot dispune, se pretează în mod deosebit la automatizarea și cibernetizarea tehnologiilor de forjare, motiv pentru care în continuare vor fi analizate în detaliu.

Pentru considerentele de mai sus, manipulatoarele de forje au fost incluse în planul de asimilare încă din cincinalul 1976—1980. Acestea sînt destinate executării operațiunilor de transport precum și mișcărilor tehnologice din procesul de forjare. Din punct de vedere constructiv, ele se adaptează programului de producție al secțiilor și particularităților utilajului termic și deformator.

Deoarece randamentul maxim de lucru se obține prin utilizarea strictă în operațiile de forjare, alegerea tipului de manipulator se face pe baza clasificării de mai jos, care are la bază criteriul gradelor de mobilitate asigurate și criteriul modului de acționare.

Nr. tipuri	Caracteristici
1	Deservirea unilaterală a presei sau ciocanului prin deplasarea longitudinală pe șine, ridicare-coborire braț, acționare clește; 4 grade de mobilitate (fig. 10.5,a)
2	Deservire două fronturi de utilaje pe de o parte și de alta a căii de rulare prin deplasare longitudinală pe șine, rotire platformă, ridicare-coborire braț, rotire braț, acționare clește; 5 grade de mobilitate (fig. 10.5,b)
3	Deservirea unui front de utilaje paralel cu calea de rulare prin deplasare longitudinală pe șine, deplasare transversală a căruciorului, ridicare-coborîre braț, rotire braț, acționare clește; 5 grade de mobilitate (fig. 10.5,c)
4	Deservire foarte elastică a două fronturi de utilaje de o parte și de alta a căii de rulare prin: deplasare longitudinală pe șine, deplasare transversală a căruciorului rotire platformă, ridicare coborire braț, rotire braț, acționare clește: 5 grade de mobilitate (fig. 10.5,d).
5	Deservire utilaje amplasate circular și corelate tehnologic, prin rotire cu un capăt pe șină circulară și cu celălalt capăt ca centru de rotație, deplasare radială a căruciorului, ridicare-coborire braț, rotire braț (fig. 10.5,e). acționare clește; 5 grade de mobilitate.
6	Deservirea universală, limitată la o capacitate portantă de circa 8 t. prin deplasare pneuri în orice direcție, ridicare-coborîre, braț, roțire braț, acțio nare clește; toate mișcările posibile.

Scanned with OKEN Scanner

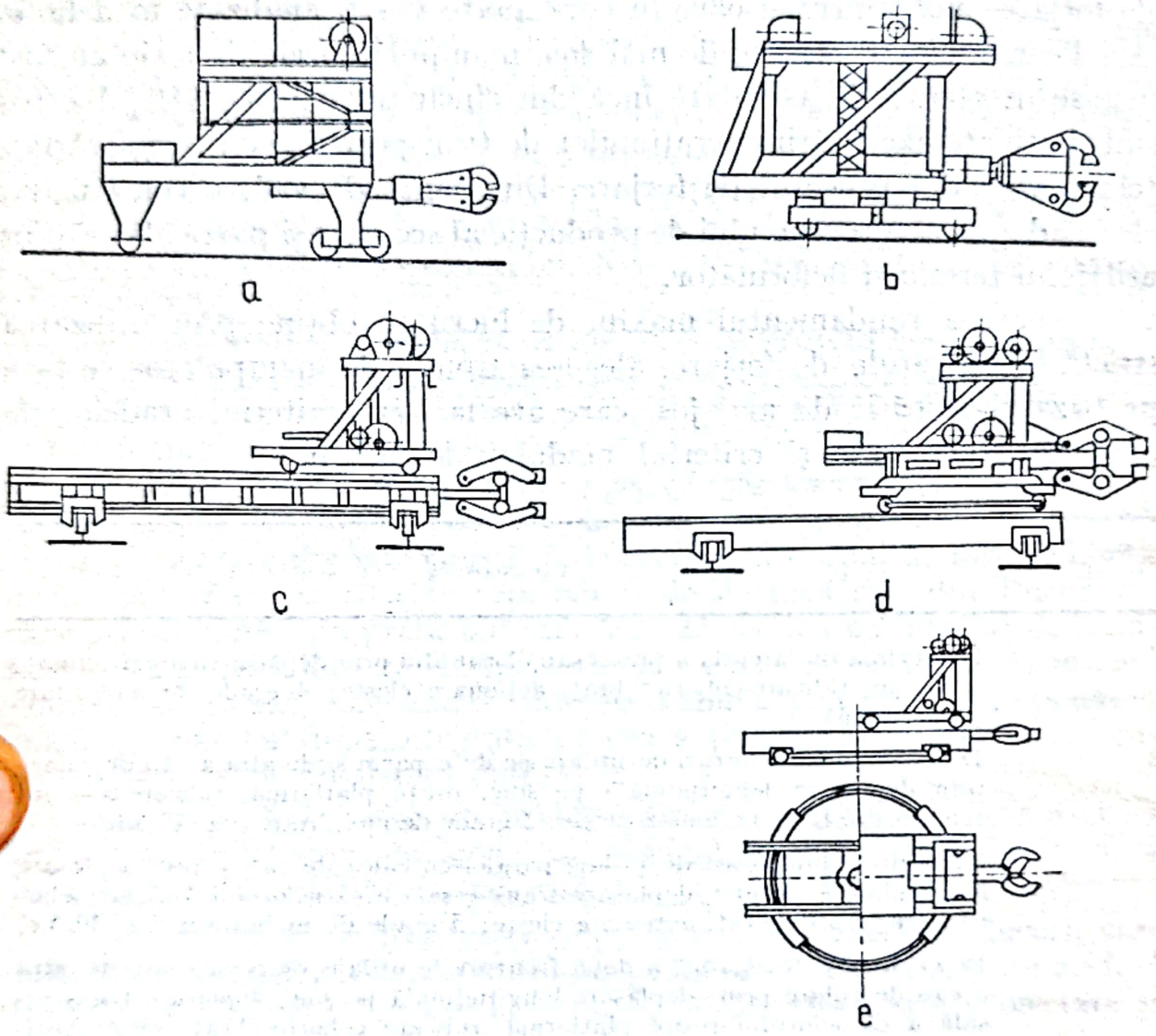


Fig. 10.5. Tipuri de manipulatoare:
a — tipul 1; *b* — tipul 2; *c* — tipul 3; *d* — tipul 4; *e* — tipul 5.

Scanned with OKEN Scanner

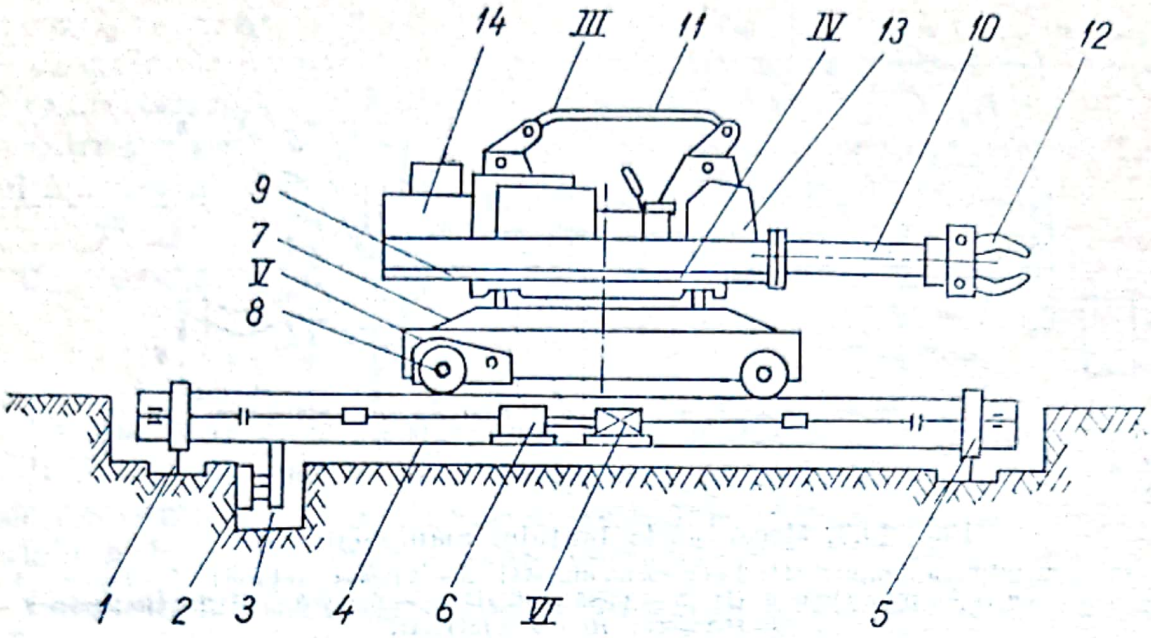


Fig. 10.6. Manipulator de tipul 4:

1 — cale de rulare; *2* — linii de curent; *3* — culegător de curent; *4* — pod; *5* — role de rulare pod; *6* — mecanism de deplasare a podului (VI); *7* — cărucior; *8* — mecanism de deplasare a căruciorului (V); *9* — platformă rotitoare; *10* — braț; *11* — paralelogram; *12* — clește, *13* — cabină de comandă; *14* — contragreutate.

Datorită rolului important al manipulatoarelor în cadrul acțiunii de marcizare a secțiilor de forje, în continuare sînt redate cîteva elemente de calcul dimensional al părții mecanice a unui manipulator cu 4 grade de mobilitate, care reprezintă tipul de manipulator cel mai adecvat atît pentru cuptorul de încălzire, cît și pentru utilajul de forjare (fig. 10.6).

Mecanismul de acționare a cleștelui. Principiul de funcționare a acestui mecanism rezultă din fig. 10.7: cele două bacuri de strîngere ce se deplasează în plan orizontal, sub acțiunea cilindrului hidraulic de acționare, creează prin apăsare două forțe de aderență N cu moment opus momentului forței de greutate a semifabricatului G_s

$$2\mu Na = G_s(a + b) \qquad (10.14)$$

în care μ reprezintă coeficientul de frecare la contactul cu semifabricatul, iar a, b — distanțe [mm].

Pentru dimensionarea cilindrului hidraulic de acționare care are un rol determinant în stabilirea configurației brațului manipulator, a preciziei și suplețe comenzilor mișcării, se scrie momentul față de articulațiile brațelor, determinat de forța de tragere F_t, generată de acțiunea acestui cilindru

$$F_t d = 2N(a + c). \qquad (10.15)$$

Scanned with OKEN Scanner

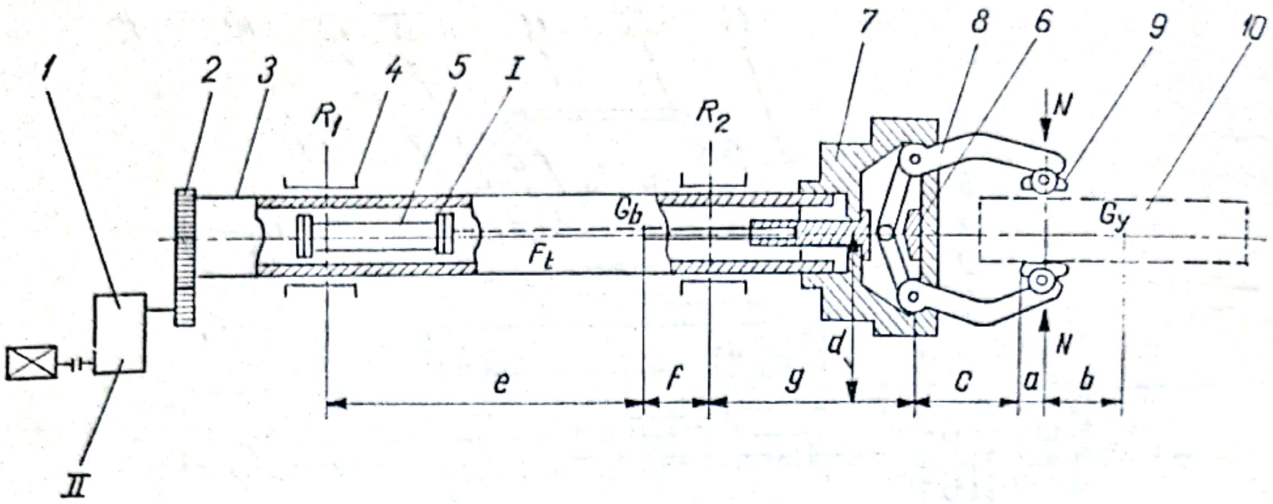


Fig. 10.7. Mecanismele brațului manipulatorului:

1 — mecanism de rotire a brațului (*II*) *2* — coroană dințată; *3* — carcasa brațului; *4* — lagăre; *5* — cilindru hidraulic de acționare a cleștelui (*I*); *6* — piesă profilată: *7* — scut; *8* — fălcile cleștelui; *9* — bac de strîngere; *10* — semifabricat.

Din aceste relații rezultă valoarea forței F_t (ce stă la baza calculului de dimensionare a cilindrului hidraulic)

$$F_t = 2N\frac{a+c}{d} = 2G_s\frac{a+b}{2\mu \cdot a}\frac{a+c}{d} = G_s\frac{(a+b)(a+c)}{\mu ad} \quad [\text{N}] \tag{10.16}$$

Mecanismul de rotire a brațului. Dimensiunile de gabarit ale motorului, precum și realizarea unui consum rațional de energie la acționarea brațului în mișcarea de rotație, corelate cu sarcina, rezultă din calculul puterii acestuia după formula

$$P = \frac{M_{rez}n_b}{9\,550\,\eta} \quad [\text{kW}] \tag{10.17}$$

în care M_{rez} reprezintă momentul rezistent din lagăre [N · m], n_b turația brațului [rot/min], η randamentul mecanismului.

Momentul rezistent din lagăre se calculează cu formula

$$M_{rez} = (R_1 + R_2)\,\mu_1 \cdot r_1 \tag{10.18}$$

în care μ_1 reprezintă coeficientul de frecare în lagăre, r_1 raza lagărului [m], R_1 și R_2 — reacțiunile din lagăre.

Valoarea reacțiunilor din lagăre rezultă din ecuațiile de momente

$$R_1(e+f) = G_s(g+c+a+b) - G_b \cdot f \tag{10.19}$$

$$R_2(e+f) = G_s(e+f+g+c+a+b) + G_b \cdot e \tag{10.20}$$

Scanned with OKEN Scanner

în care G_b reprezintă greutatea brațului, [N]; R_1 și R_2 au fost considerate ca avînd sensuri contrare, ceea ce corespunde situațiilor practice, corespunzătoare unei încărcări preponderente în consolă.

Introducînd valoarea lui R_1 și R_2 din aceste formule în (10.18) rezultă momentul rezistent M_{rez} în funcție de date cunoscute

$$M_{rez} = \frac{G_s[2(a+b+c+g)+c+f]+G(e-f)}{e+f}\,\mu_1 r_1 \quad (\mathrm{N\cdot m}]. \tag{10.21}$$

Mecanismul de ridicare-coborîre a brațului. Mecanismul redat în fig. 10.8, avînd forma unui mecanism patrulater articulat cu bare rigide de format special, cu acționare hidraulică, asigură mișcarea plan-paralelă a brațului într-un plan vertical.

Forța dezvoltată de cilindrul hidraulic exercită față de articulația *5* un moment activ, care contracarează momentul rezistent al forței de greutate (semifabricat-braț), distribuită în pîrghiile *3* și *4*. Dimensionarea cilindrului se face pentru situația cea mai defavorabilă, corespunzător brațului maxim față de articulația 5 al forței lui de împingere. La unele tipuri constructive se folosesc mecanisme (fig. 10.9, a) de oscilare cu cablu a brațului.

Brațul manipulatorului, care poate oscila în jurul punctului *O*, are montat la capătul opus un scripete activ. Deplasarea semifabricatului prins în clește pe distanța h_a se face prin înfășurarea sau derularea cablului care trecînd peste scripetele activ îl ridică sau îl coboară.

Puterea mecanismului de acționare se calculează cu relația

$$P = \frac{F_0 v}{1\,000\,\eta} \quad [\mathrm{kW}] \tag{10.22}$$

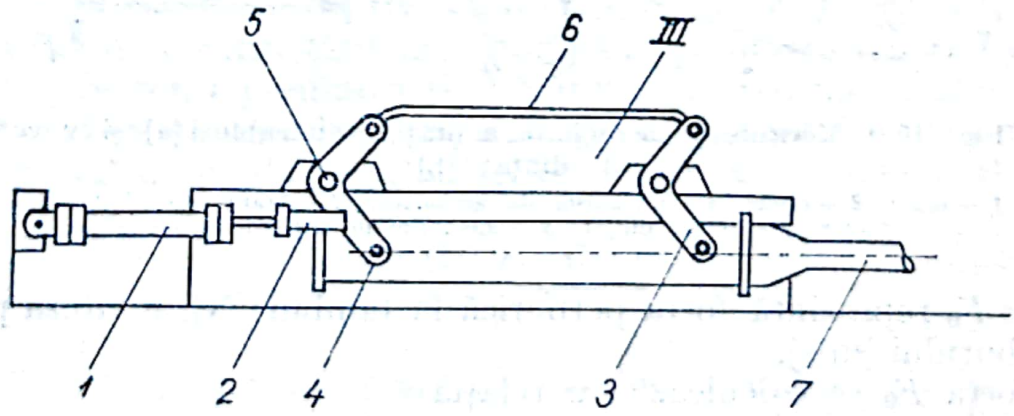


Fig. 10.8. Mecanismul de ridicare-coborire a brațului (*III*):
1 — cilindru hidraulic; *2* — tijă; *3* — pîrghie cotită; *4* — articulație fixată la braț; *5* — articulație fixă; *6* — bară paralelogram.

Scanned with OKEN Scanner

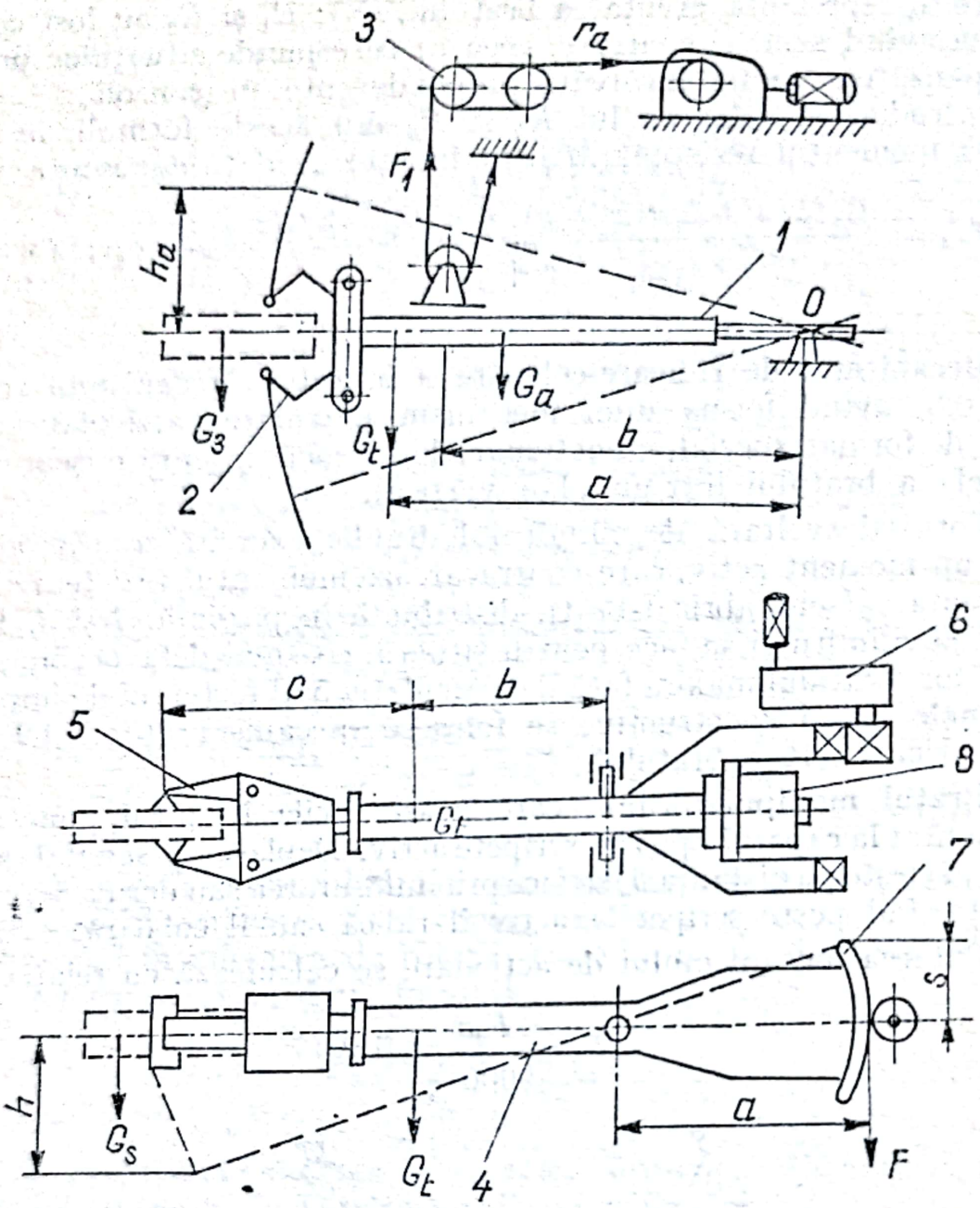


Fig. 10.9. Mecanisme de oscilare a brațului cu cabluri (a) și cu sector dințat (b):

1 – braț; *2* – clește; *3* – mecanism de acționare; *4* – braț; *5* – clește; *6* – reductor; *7* – sector dințat; *8* – mecanism de acționare a cleștelui.

în care F_0 reprezintă forța periferică la tambur [N], v viteza periferică a tamburului [m/s].

Forța F_0 se calculează cu relația

$$F_0 = \frac{F_1}{i_p \eta_s^m} = \frac{G_s + G_a}{i_p \eta_s^m} \frac{a}{b} \quad [\text{N}] \qquad (10.23)$$

Scanned with OKEN Scanner

în care G_s este greutatea sarcinii [N], G_a greutatea ansamblului ce se oscilează [N], i_p raportul de transmisie al palanului, η_s randamentul scripetelui, m numărul de scripeți, a și b distanțe [m].

Viteza v se calculează cu relația

$$v = v_0 i_p = \frac{h_0}{t_0} i_p \quad [\text{m/s}] \tag{10.24}$$

în care v_0 reprezintă viteza de oscilare [m/s], h_0 înălțimea de oscilare [m], t_0 timpul de oscilare [s].

O altă variantă o reprezintă mecanismul cu sector dințat prezentat în fig. 10.9, b. În acest caz forța F la periferia sectorului dințat rezultă din relația

$$F = G_t \frac{b}{a} \quad [\text{N}] \tag{20.25}$$

în care G_t reprezintă greutatea totală [N], a și b distanțe [m].

Cursa sectorului dințat pentru o deplasare h a semifabricatului este dată de relația

$$S = h \frac{a}{b + c} \quad [\text{m}]. \tag{10.26}$$

Viteza la periferia pinionului va fi

$$v = \frac{s}{t_0} \quad [\text{m/s}] \tag{10.27}$$

în care t_0 reprezintă timpul de oscilare, în s.

Mecanismul de rotire al platformei. Sarcina care acționează asupra platformei se distribuie relativ uniform pe un cerc de rulare prevăzut cu bile. Efectul excentricității, determinată de greutatea semifabricatului, este redus de contragreutatea G_{cg}. Mărimea și poziția acestei contragreutăți se alege ca un echivalent a 50 % din momentul sarcinii maxime din programul de producție a utilajelor deservite de manipulator după formula

$$G_{cg} = \frac{0{,}5\ G_s \cdot a + G_s \cdot b}{c} \quad [\text{N}] \tag{10.28}$$

în care G_s și G_b reprezintă greutățile sarcinii și brațului [N], iar a, b, c distanțe [m].

Puterea motorului pentru rotirea platformei se calculează în funcție de momentul total rezistent ce trebuie învins. Pentru a poziționa cen-

Scanned with OKEN Scanner

trul de greutate se iau în considerare două poziții distincte, corespunzătoare cazului fără sau cu semifabricat în clește, după cum urmează:

— cazul fără semifabricat în clește

$$x_1 = c - \frac{G_{cg}c - G_b b}{G_{cg} + G_b}$$

$$y_1 = \frac{G_{cg}d + G_p d + G_b e}{G_{cg} + G_p + G_b} \qquad (10.29)$$

— cazul cu semifabricat în clește

$$x_2 = c + \frac{G_b b + G_s a - G_{cg} e}{G_b + G_s + G_y} \qquad (10.30)$$

$$y_2 = \frac{G_{cg}d + G_p d + G_b e + G_s e}{G_g + G_p + G_b + G_s}. \qquad (10.31)$$

Valoarea forțelor care apar în sistem este redată în tabelul 10.2 și corespunde stării prezentate în fig. 10.10 și 10.11.

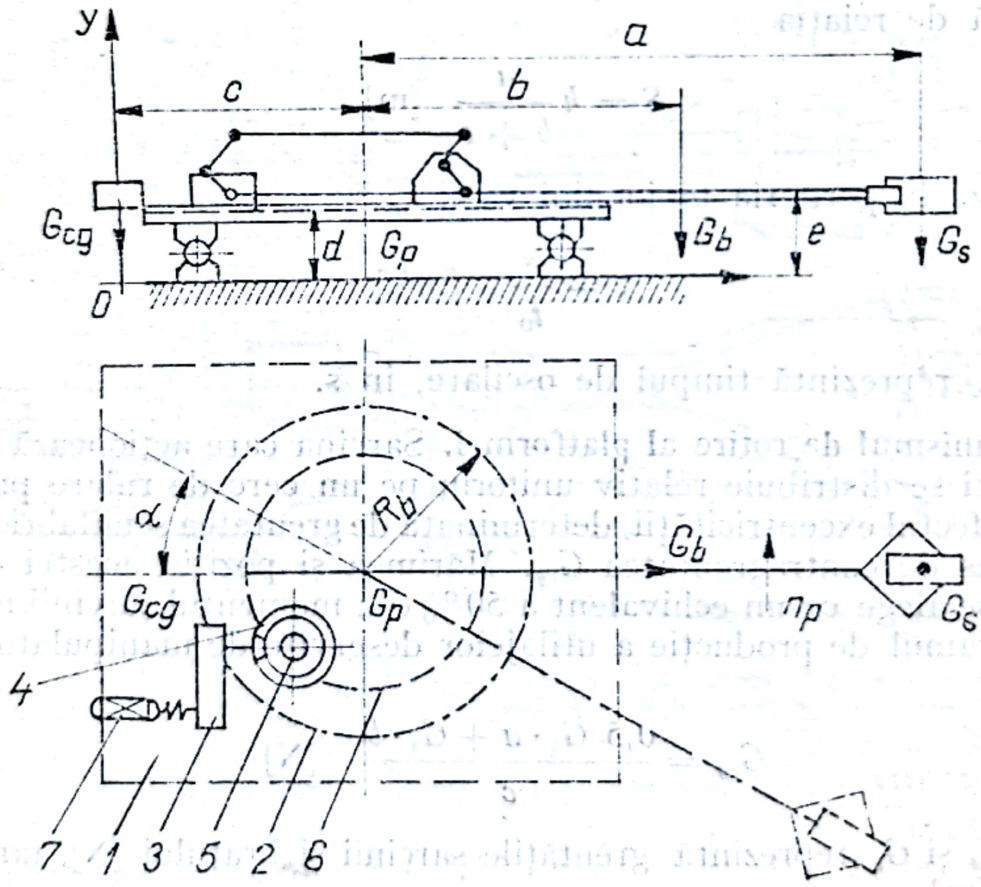


Fig. 10.10. Mecanism de rotire a platformei (*IV*):
1 — platformă rotitoare; *2* — cercul de bile de sprijin și rulare; *3* — reductor; *4* — angrenaj conic; *5* — pinion de atac; *6* — coroană dințată interioare; *7* — motor.

Scanned with OKEN Scanner

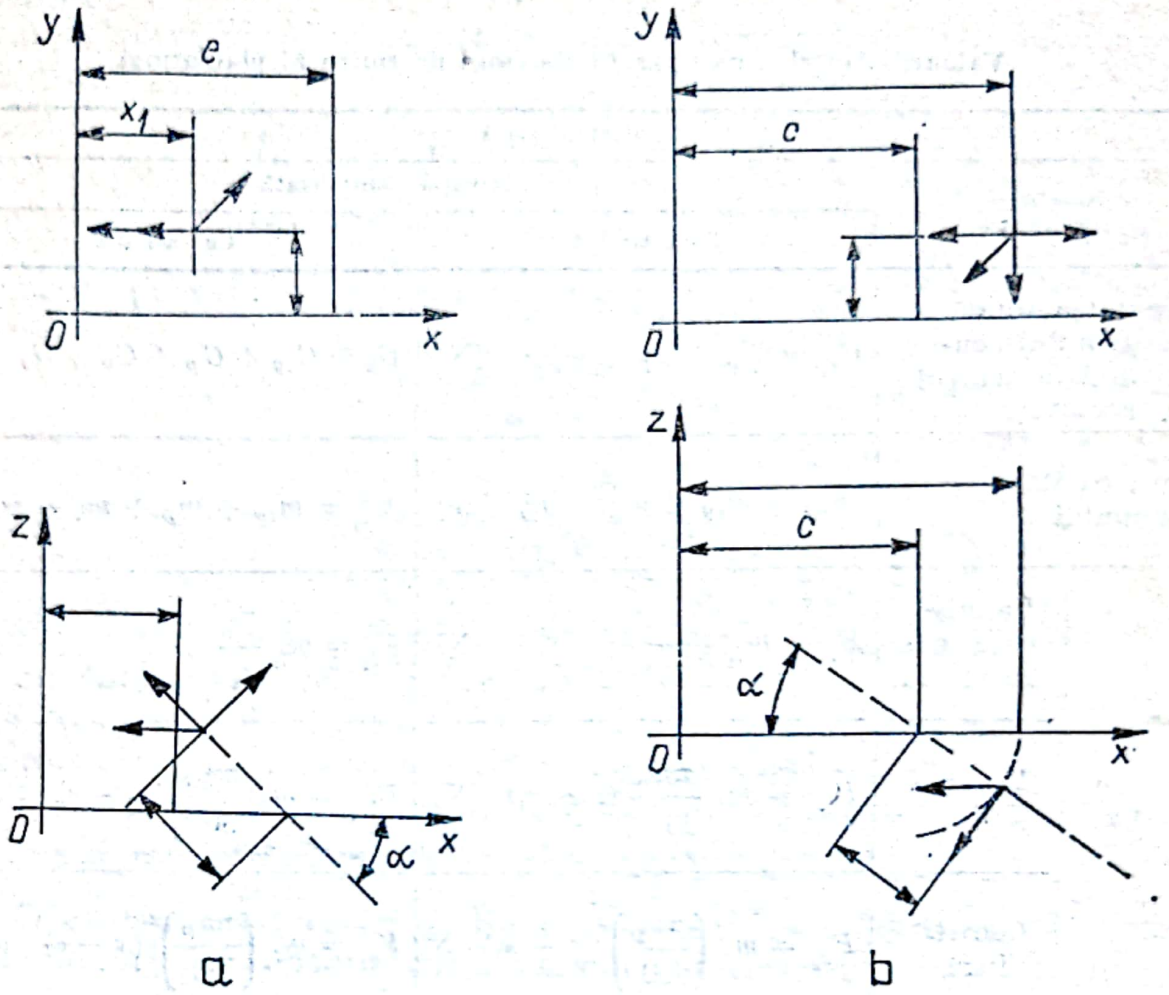


Fig. 10.11. Schema forțelor la platforma rotitoare în cazul fără sarcină în cleşte (a) şi cu sarcină în cleşte (b).

Forțele mecanismului de rotire a manipulatorului. Cunoscînd valoarea forțelor de inerție se poate calcula momentul total rezistent cu relația

$$M_{t_1} = M_{p_1} + M_{i_1 max} \quad [\mathrm{N \cdot m}] \tag{10.32}$$

$$M_{t_2} = M_{p_2} + M_{i_2 max} \quad [\mathrm{N \cdot m}] \tag{10.33}$$

în care M_{p_1}, M_{p_2} reprezintă momentele rezistente la rotirea platformei în cele două cazuri [N · m], iar M_{i_1}, M_{i_2} momentele datorită forțelor de inerție.

Explicitînd termenii relațiilor de mai sus se obține

$$M_{p_1} = G_{t_1} R_b \mu_b \quad [\mathrm{N \cdot m}] \tag{10.34}$$

$$M_{p_2} = G_{t_2} R_b \mu_b \quad [\mathrm{N \cdot m}] \tag{10.35}$$

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 10.2

Valoarea forțelor ce apar în sistemul de rotire al platformei

Notații și specificații		Forță, masă	
		Situația considerată	
		Fără sarcină	Cu sarcină
Greutatea totală a sistemului concentrată în centrul de greutate		$G_{i_1} = G_{cg} + G_p + g_b$ [N]	$G_2 = G_{cg} + G_p + G_b + G_s$ [N]
Masa totală a sistemului		$m_{i_1} = m_{cg} + m_p + m_b$ [kg]	$m_{i_2} = m_{cg} + m_p + m_b + m_s$ [kg]
Forțe de inerție	La mișcarea căruciorului	$F_{i_1} = m_{i_1} \cdot \frac{V_c}{t_c}$ [N]	$F_{i_2} = m_{i_2} \frac{V_c}{t_c}$ [N]
	Tangențială	$F_{i_{t_1}} = m_{t_1} \frac{\pi n_p}{30\, t_p} (c - x_1)$ [N]	$F_{i_{t_2}} = m_{t_2} \frac{\pi n_p}{30\, t_0} (x_2 - c)$ [N]
	Centrifugă	$F_{c_1} = m_{t_1} \left(\frac{\pi n_p}{30}\right)^2 (c - x_1)$ [N]	$F_{c_2} = m_{t_2} \left(\frac{\pi n_p}{30}\right)^2 (x - c)$ [N]

în care: m_{cg}, m_b, m_s reprezintă mase; v_c — viteza căruciorului; n_p — turația platformei; t_p — timpul de descărcare a platformei;

în care R_b reprezintă raza cercului de rulare a bilelor (fig. 10.11) [m], μ_b coeficientul de frecare pe calea de rulare a bilelor. Astfel

$$M_{i_1} = F_{i_{t_1}}(c - x_1) - F_{i_1}(c - x_1) \sin \alpha \quad [\mathrm{N \cdot m}] \tag{10.36}$$

$$M_{i_2} = F_{i_{t_2}}(x_2 - c) + F_{i_2}(x_2 - c) \sin \alpha \quad [\mathrm{N \cdot m}]. \tag{10.37}$$

Determinarea valorii maxime a acestor momente se obține prin anularea derivatei lor în raport cu argumentul x

$$\frac{\mathrm{d}M_{i_1}}{\mathrm{d}x} = F_{i_1}(c - x_1) \cos \alpha = 0 \quad [\mathrm{N \cdot m}] \tag{10.38}$$

$$\frac{\mathrm{d}M_{i_2}}{\mathrm{d}x} = F_{i_2}(x_2 - c) \cos \alpha = 0 \quad [\mathrm{N \cdot m}]. \tag{10.39}$$

Scanned with OKEN Scanner

Valoarea maximă a acestor momente corespunde la $\alpha = \pi/2$ și deci se obține:

$$M_{t_1 max} = (F_{it_1} - F_{t_1})(c - x_1) \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \tag{10.40}$$

$$M_{t_2 max} = (F_{it_2} - F_{t_2})(x_2 - c) \quad [\text{N} \cdot \text{m}]. \tag{10.41}$$

În consecință, valoarea puterilor corespunzătoare celor două situații va fi

$$P_1 = \frac{M_{t_1} n_p}{9\,550\ \eta} \quad [\text{kW}] \tag{10.42}$$

$$P_2 = \frac{M_{t_2} n_p}{9\,550\ \eta} \quad [\text{kW}]. \tag{10.43}$$

în care η reprezintă randamentul mecanismului.

Se subînțelege că dimensionarea motorului mecanismului se va alege corespunzător situației celei mai favorabile, respectiv pentru P maxim.

Întrucît mecanismele de translație ale căruciorului și podului se calculează cu relațiile clasice nu se insistă asupra lor.

Cibernetizarea secțiilor de forje. Introducerea cibernetizării în instalațiile de forje, în sensul realizării unei conduceri a instalațiilor sau liniilor automate cu ajutorul unor programe înregistrate într-o memorie, reprezintă o problemă relativ nouă, abordată recent pe plan mondial. Astfel de sisteme cibernetizate cuprind instalații automate de forjare liberă cu prese hidraulice și manipulatoare de forjare.

La aceste instalații automate, preselectarea valorii diferitelor dimensiuni impuse piesei forjate este efectuată în mod obișnuit de către un operator. Conform programului de forjare, unele din aceste valori corespund la mai multe treceri, în timp ce altele trebuie modificate după fiecare trecere. În aceste condițiuni intervenția operatorului pentru fixarea diferitelor valori impuse conduce la pierderi de timp, în care piesa se răcește.

Înlăturarea acestor inconveniente se face printr-o comandă programată prin care valorile impuse sînt înregistrate pe baza unor informații prealabile. Programarea pe diferiți suporți, cum sînt cartelele, benzile perforate sau benzi magnetice, poate fi asigurată de o pregătire a fabricației, funcție de procesul tehnologic și de informațiile corespunzătoare.

Determinarea valorilor optime impuse, necesită însă un stadiu prealabil al procesului, care să aibă în vedere legile deformării plastice a

Scanned with OKEN Scanner

metalului prin forjare, caracteristicile materialului, precum și influența sculelor și a condițiilor tehnice în care se desfășoară procesul.

În aceste condiții se înțelege că cibernetizarea trebuie aplicată, în mod strict, numai în acele cazuri cînd sortimentul și caracterul de serie al fabricației o justifică d'n punct de vedere economic.

Un exemplu de realizare de vîrf pe plan mondial îl constituie cibernetizarea producției la firma „Bofors" d'n Suedia, care a introdus o automatizare de înaltă performanță la forja grea din Karlshoga. În mod obișnuit, această firmă produce arbori cotiți de pînă la 300 kg pentru autocamioane, semifabricate pentru roți d'nțate, articulații pentru bare de direcție și altele.

Pentru eliminarea operațiilor manuale grele, reducerea efectelor nocive ale gazelor, a căldurii și a zgomotelor asupra muncitorilor precum și pentru creșterea producției și îmbunătățirea calității s-au construit o serie de linii de producție sofisticate, considerate a avea cel mai înalt grad de automatizare în domeniul respectiv. Între acestea se menționează linia de ciocane de forje de 50000 daN · m, la care se forjează arbori cotiți și diferite alte piese de pînă la 900 kg.

Semifabricatele încălzite la un cuptor automat rotativ tip Carusell sînt așezate automat pe un transportor cu role, care le deplasează la o instalație de îndepărtare a țunderului, unde un dispozitiv de transfer le încarcă și le descarcă automat alimentînd un ciocan de forjă. Un robot electro-hidraulic descarcă piesele forjate de la ciocan, transferîndu-le în continuare pe flux la presa de debavurat.

În țara noastră cibernetizarea în sensul amintit, ca element de comandă-program a proceselor de forjare, a fost introdusă la un număr restrîns de grupuri de forjare.

În acest sens pot fi exemplificate mașinile de forjat rotativ cu ciocănele tip GFM pentru forjarea axelor în trepte, existente în forjele de la Întreprinderea de Autoturisme din Pitești, Întreprinderea de Autocamioane din Brașov și a mufelor tubulare la Întreprinderea de Utilaj Petrolier din Tîrgoviște. La aceste mașini alimentarea se face mecanizat sau manual în cazul pieselor mici, iar procesul de forjare se execută automat în baza unui program prestabilit. Dotarea forjelor cu elemente de mare capacitate nu s-a realizat în cadrul unor acțiuni organizate pe ansamblul industriei. Acestea provin fie din import, achiziționate împreună cu utilajul de bază, fie realizate în țară în mod individual. Din această cauză s-a ajuns la o varietate mare și eteroclită de elemente de mare capacitate, care nu sînt executate într-o concepție unitară.

În prezent această situație este reconsiderată prin noile proiecte întocmite ca urmare a Decretului Prezidențial nr. 66/1978, precum și a acțiunii de tipizare.

Scanned with OKEN Scanner

10.3. ELEMENTE PRIVIND MECANIZAREA, AUTOMATIZAREA, ROBOTIZAREA ȘI CIBERNETIZAREA CUPTOARELOR DE ÎNCĂLZIRE ȘI TRATAMENTE TERMICE

Marcizarea cuptoarelor de încălzire și liniilor de tratamente termice are la bază utilizarea și automatizarea unor mecanisme sau utilaje (mecanice, hidraulice, pneumatice sau combinate) de transport și manipulare, precum și automatizarea regimurilor de încălzire a semifabricatelor în vederea deformărilor plastice și a tratamentelor termice.

Pe plan mondial robotizarea a fost introdusă în fluxul tehnologic la mecanismele care efectuează o serie de mișcări a căror succesiune este comandată de un program înregistrat într-o memorie, cum ar fi de exemplu transferul pieselor în timpul prelucrării la cald de la un post la altul.

Cibernetizarea, în sensul urmăririi și corectării pe parcursul proceselor tehnologice prin calculatoare de proces, a regimurilor de lucru, reprezintă o problemă relativ nouă, abordată recent pe plan mondial la cuptoare. Ca urmare, se impune introducerea comenzilor cu program numai în acele cazuri cînd sortimentul și seriile de semifabricate justifică o asemenea acțiune.

În prezent mecanismele pentru acționarea ușilor, vetrelor, cărucioarelor, manipulatoarelor de șarjare, alimentatoarelor, împingătoarelor și capacelor din componența diferitelor tipuri de cuptoare sînt comandate manual, semiautomat și mai rar automat.

La nivel mondial sînt automatizate alimentările, evacuările, transportul și transferul semifabricatelor sau pieselor în cadrul liniilor (agregatelor) de fabricație, arderea combustibilului precum și reglarea temperaturii și controlul termotehnic al cuptoarelor industriale.

În ceea ce privește situația din țara noastră, automatizările se întîlnesc la cuptoarele și liniile de forjare, tratamente termice primare și secundare, în secțiile de tratamente termice de forje sau turnătorie.

În cadrul liniilor (agregatelor) la tratamente termice, alimentarea se face mecanizat, iar restul operațiilor automat. Asemenea situații pot fi întîlnite la o serie de întreprinderi din țara noastră, ca „23 August" din București, Întreprinderea de Autocamioane din Brașov etc.

În ceea ce privește robotizarea și cibernetizarea în sensul definițiilor date, se remarcă o rămînere în urmă în cazul cuptoarelor de încălzire, datorită unor dotări necorespunzătoare. Pentru o perspectivă apropiată, problema necesității modernizării unor secții de tratamente termice privind aplicarea robotizării și cibernetizării se află în fază de studiu.

Scanned with OKEN Scanner

Fără îndoială că pentru introducerea unor dotări tehnice de anvergură, cum sînt robotizarea și cibernetizarea, trebuie ținut cont de situația fiecărui caz în parte, cînd se au în vedere unități existente, precum și de ansamblul implicațiilor la nivel național sau de ramură.

Problemele legate de marcizarea cuptoarelor de încălzire și a celor de tratament termic sînt strîns legate de o serie de aspecte atît de ordin general, cît și particular, specific acestor cuptoare.

În ceea ce privește aspectele generale ale acestei acțiuni se reține funcționarea cuptoarelor în strînsă legătură cu alte utilaje, în cadrul unor linii de fluxuri de fabricație, cum sînt de exemplu linii de turnătorii sau forjare, precum și funcționarea în mod independent sau intercondiționat, cum este situația în secțiile și liniile continue (agregatele) sau discontinue de tratamente termice (secții aparte).

Dintre aspectele specifice marcizării cuptoarelor se menționează următoarele:

— arderea în condiții optime a combustibilului în sensul realizării unui grad de utilizare maxim al acestuia pe toată durata procesului tehnologic;

— recuperarea resurselor secundare de energie în condiții optime;

— optimizarea gradului de folosire a cuptoarelor printr-o conducere a procesului prin calculator și o automatizare a tactelor de încărcare;

— folosirea integrală a capacității de încărcare a cuptoarelor, care funcționează deseori neîncărcate la capacitatea reală consumîndu-se energie în mod inutil.

În afară de considerentele implicate de aspectele generale și specifice ale cuptoarelor, enumerate mai sus, acțiunea de marcizare a acestora este subordonată nivelului de dezvoltare atins de ramurile industriale de vîrf care trebuie să asigure tehnica respectivă, cum sînt, de exemplu, aparatajul electronic, electrotehnic, hidraulic etc.

Avînd în vedere caracterul relativ lent al muncii din forjă și chiar din secțiile de tratamente primare, realizarea cerințelor marcizării în acest domeniu, presupune dispunerea de aparataj la următoarele nivele:

— elemente tipizate de mașini și sisteme tehnice de reglare cu indice de fiabilitate ridicat în medii de temperaturi și praf, astfel încît să nu întrerupă ciclurile automate prin nefuncționare;

— arzătoare de gaz și păcură de mare randament prevăzute cu elementele aferente de acționare ca: ventile, clapete, regulatoare de presiune etc.;

— aparatură de măsură, comandă și reglare cu fiabilitate ridicată.

Scanned with OKEN Scanner

Realizarea produsului optim în condițiile unui consum minim de energie pe unitatea de suprafață a vetrei cuptorului poate fi obținut numai pe calea cibernetizării sistemului de încălzire, care presupune un reglaj al puterii cu tiristori, o urmărire a interiorului cuptorului cu posturi de televiziune precum și urmărire și corectare a regimurilor de lucru pe parcurs prin utilizarea calculatoarelor de proces.

Importanța acestui deziderat, care implică responsabilități de natură socială și de protecție a muncii în sectoarele calde, rezultă în primul rînd din considerente tehnico-economice, deoarece cuptoarele industriale reprezintă în ramura industriei constructoare de mașini 68% din consumatorii de combustibili și energie electrică.

10.4. PROGRAMUL DE MĂSURI CU PRIVIRE LA MECANIZAREA ȘI AUTOMATIZAREA PROCESELOR TEHNOLOGICE ȘI A LINIILOR DE FABRICAȚIE ÎN SECTOARELE CALDE DIN CONSTRUCȚIA DE MAȘINI ÎN ȚARA NOASTRĂ

În baza indicațiilor tovarășului Nicolae Ceaușescu, secretar general al Partidului Comunist Român, date cu prilejul analizei consumurilor specifice, din iunie 1984 și cu ocazia vizitelor de lucru efectuate în întreprinderi constructoare de mașini și la Institutul pentru Sectoare Calde, au fost analizate, cu participarea specialiștilor din întreprinderi, centrale industriale și institut, problemele privind ridicarea nivelului tehnic în sectoarele calde, pentru creșterea productivității muncii, reducerea consumurilor de materii prime, materiale, combustibil și energie, îmbunătățirea calității producției, întocmindu-se un program de măsuri cu următoarele puncte:

— utilizarea rațională a capacităților de producție;

— mecanizarea și automatizarea proceselor tehnologice și a liniilor de fabricație;

— îmbunătățirea calității pieselor turnate și forjate și reducerea rebuturilor;

— reducerea consumurilor de materii prime, materiale, combustibil și energie;

— asigurarea forței de muncă și retribuirea muncii în sectoarele calde.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru creșterea mai accentuată a productivității muncii și a reducerii efortului fizic în sectoarele calde s-au prevăzut următoarele măsuri:

— Orientarea utilizării fondurilor de investiții cuprinse în planul pe 1986—1990, îndeosebi pentru modernizarea sectoarelor calde, prin sporirea gradului de mecanizare și automatizare a operațiilor tehnologice în special cele cu volum mare de muncă și utilizarea mai rațională a suprafețelor de producție.

Conform programului de modernizare, pînă în anul 1988 urmează a se moderniza în sectoarele calde aproape toate turnătoriile de oțel și peste 85% din capacitățile turnătoriilor de fontă din întreprinderile Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini. Se prevede că toate mecanizările, automatizările și introducerea tehnologiilor noi vor conduce la o creștere a productivității de 3—4 ori.

— Creșterea gradului de mecanizare la turnătoriile de fontă va evolua după cum urmează:

Nr. crt.	Profilul turnătoriei	Grad de mecanizare % (ponderea manoperei mecanizate din total manoperă)		
		1984	1985	1986
1.	Turnătorii de fontă	58	65	90
2.	Turnătorii de oțel	53	60	90

Acțiunile mai importante care vor concura la creșterea gradului de mecanizare în cadrul programelor de modernizare mai sus amintite sînt următoarele:

— realizarea programului de tipizare a liniilor, utilajelor și componentelor pe linii de fabricație;

— introducerea în cadrul modernizărilor din turnătorii a încă 15 linii mecanizate și automatizate pe lîngă cele 78 existente sau în curs de finalizare;

— mecanizarea și automatizarea a cca. 35 de unități de preparare a amestecurilor de formare și miezuire, inclusiv a transportului materialelor;

— introducerea în conducerea proceselor de pe liniile automatizate a 10 automate programabile de concepție românească;

— introducerea de utilaje, manipulatoare și dispozitive specifice pentru ușurarea muncii la operațiile de curățire a pieselor;

— mecanizarea operațiilor grele din forje prin introducerea a 47 manipulatoare pînă în anul 1988;

Scanned with OKEN Scanner

— realizarea de către Institutul pentru Sectoare Calde a două linii tehnologice modulate de 2500 t/an (pentru fontă și oțel), cu un înalt grad de mecanizare și automatizare care să constituie modele de referință și posibilități de testare a soluțiilor pentru modernizări viitoare;

— antrenarea institutelor de învățămînt superior din București, Cluj-Napoca, Timișoara și Iași, în acțiunea de mecanizare și automatizare a proceselor de producție din întreprinderile cu sectoare calde și de introducere a elementelor de robotizare;

— asimilarea și introducerea componentelor și instalațiilor de automatizare, reglare și control a proceselor, utilajelor și liniilor tehnologice.

Întreg complexul de măsuri prevăzute pe linia perfecționării tehnologiilor, întăririi disciplinei tehnologice și îmbunătățirii calității va conduce la diminuarea pierderilor din rebuturi în cincinalul 1986—1990 cu cca. 1 miliard lei.

Dinamica reducerii procentului de rebut va fi următoarea:

Nr. crt.	Denumirea pieselor	Anul		
		1984	1985	1990
1.	Piese brute din fontă	8,7%	7,0%	4,5%
2.	Piese brute din oțel	5,2%	4,0%	3,0%
3.	Piese forjate	2,0%	1,6%	1,0%

Se menționează că pierderile tehnologice în principalele țări industrializate sînt situate în prezent la nivel de 4—5% la piesele turnate din fontă, 3—3,5% la piesele turnate din oțel și 1—1,5% la piesele forjate și matrițate.

Dintre măsurile mai importante ce urmează a fi aplicate o dată cu realizarea programului de modernizare și extindere amintit se menționează următoarele:

— extinderea procedeelor moderne de formare-miezuire cu amestecuri autoîntăritoare de la 30% în prezent la cca. 40% în 1986 (limita economică a procedeului);

— introducerea de noi rețete de amestecuri de formare cu rășini, silad, oxid de magneziu, deporom, lignocet, metgel, celuloză micronizată și altele, pentru îmbunătățirea calității suprafeței pieselor, ușurarea dezbaterii și curățirii;

— creșterea ponderii pieselor turnate din fontă cu proprietăți mecanic rapide de la 20% la 30% și reducerea în mod corespunzător a consumului de piese turnate din oțel, la care tehnic și economic se justifică;

Scanned with OKEN Scanner

— asigurarea numărului de cadre necesar cu calificare ridicată corespunzător sarcinilor de aplicare a tehnologiilor moderne.

Pentru realizarea sarcinilor privind reducerea consumurilor se acționează atît pe linia modernizării utilajelor și instalațiilor mari consumatoare de combustibil și energie, cît și pentru perfecționarea tehnologiilor și asigurarea unor materii prime și materiale de calitate corespunzătoare, luîndu-se următoarele măsuri mai importante:

— modernizarea instalațiilor de reglare a electrozilor la cuptoarele electrice cu arc, astfel încît să se realizeze o reducere a consumului de energie electrică cu 100 kWh/tonă de oțel lichid. Această acțiune împreună cu celelalte măsuri de raționalizare a consumului de energie va conduce la reducerea normei de consum la piese din oțel turnat în 1984/1985 cu 4%, iar în 1985/1986 cu încă 3%;

— modernizarea cubilourilor din întreprinderile constructoare de mașini prin insuflarea aerului pe două rînduri de guri de vînt, care va permite reducerea consumului de cocs cu 12—15%, ceea ce reprezintă 20—30 kg cocs pe tona de fontă, realizîndu-se reducerea normei de consum în 1984/1985 cu 28% și în 1985/1986 cu încă 4%;

— introducerea instalațiilor de regenerare a nisipului de turnătorie va asigura recuperarea a 230 mii tone nisip în anul 1985 și va ajunge a 430 mii tone/an în 1990 din cele aproximativ 800 mii tone/an care pot fi supuse acestei operații. Aceasta reprezintă o recuperare de 50—55% față de realizările pe plan mondial de 55—60%, care reprezintă limita economică a procedeului;

— recuperarea primară și secundară a căldurii de la cuptoarele de încălzire precum și asimilarea arzătoarelor regenerative;

— asigurarea cantitativă și îmbunătățirea calității unor materiale de bază și auxiliare pentru turnătorii (nisipuri de turnătorie, bentonită, argilă, silicat de sodiu purificat, rășini furanice, făină de zirconiu, electrocorindon, etc.) cu respectarea caracteristicilor necesare, va determina reducerea consumului de lianți după cum urmează:

Nr. crt.	Denumirea liantului	Consum mediu 1984 kg/t piesă	Reducerea consumurilor	
			kg/tonă piese turnate	%
1.	Argilă	320	80	25
2.	Bentonită	130	40	30
3.	Silicat de sodiu	300	90	30
4.	Rășini furanice	180	54	30

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 11

STADIUL ACTUAL ŞI PERSPECTIVE ÎN CERCETAREA ŞTIINŢIFICĂ ÎN DOMENIUL ROBOŢILOR INDUSTRIALI ŞI SISTEMELOR FLEXIBILE DE FABRICAŢIE

11.1. ROBOŢI INDUSTRIALI

Din punct de vedere tehnic, roboţii industriali cei mai utilizaţi în prezent, comparativ cu stadiile de dezvoltare ale omului, rămîn încă în perioada „copilăriei" lor. Se estimează că în actualul deceniu aceşti roboţi vor intra în „adolescenţa şi tinereţea lor" [130], iar în prezent se pare că Japonia se află pe primul loc al pretenţiilor de „paternitate".

În ultimii ani s-au făcut în mod frecvent comparaţii între roboţii industriali fabricaţi în Japonia, Statele Unite ale Americii şi ţările europene, însă o evaluare exactă între aceştia n-a fost posibilă întrucît definiţiile conceptului de robot diferă de la ţară la ţară, iar datele numerice folosite sînt de asemenea diferite deoarece nu se referă la o clasificare unică (v. cap. 1).

În lucrări de dată recentă [27, 129], făcîndu-se abstracţie de proveniența roboţilor, se propune următoarea clasificare sintetică a robo-

Scanned with OKEN Scanner

ților existenți în industrie și în laboratoarele de cercetare, clasificare la care ne vom referi în tratarea celor ce urmează:

— roboți simpli, care lucrează în buclă deschisă față de mediu;

— roboți evoluați cu posibilitate de adaptare la mediul de lucru (roboții lucrează în buclă închisă față de mediu);

— roboți evoluați cu caracteristici inteligente, care sînt dotați cu funcția de decizie, realizată de sine-stătător în cadrul ierarhiei de comandă și, de asemenea, integrată în celelalte funcții ale robotului (acțiune, percepție, comunicare).

Caracteristica de bază a roboților evoluați inteligenți, care îi conferă robotului un înalt grad de autonomie, o constituie generarea automată a planului de acțiune și urmărirea execuției lui.

Clasificarea de mai sus are un caracter ierarhic în sensul că o nouă clasă de roboți realizează funcțiile acestuia pe un nivel superior și integrează în ea clasele de roboți aflate la nivelurile inferioare.

Roboții evoluați care se adaptează la mediu realizează nivelul reglajului automat față de lumea exterioară, iar cei evoluați cu caracteristici inteligente pot, în plus, să și înțeleagă mediul în care lucrează.

În acest ultim caz avem de-a face cu un robot cu caracteristici de antropomorfism pronunțate nu numai din punct de vedere al configurației sale geometrice, dar mai ales în ceea ce privește capacitatea de realizare a unor funcțiuni specifice omului. În momentul cînd un astfel de robot întreprinde o acțiune care „stîrnește interesul său", el este „impresionat" și determinat să-și „întoarcă ochii în jur pentru noi mișcări". Se înțelege că în caz de eroare în „judecata robotului" un operator specialist va determina dacă mișcările sale prezintă interes sau nu. Dealtfel tocmai posibilitatea de a se putea sesiza din exteriorul sistemului robot-mediu de lucru asemenea comportamente, care stimulează interesul robotului în timpul acțiunii sale, îl diferențiază pe acesta de ceea ce numim în mod curent mașină automată.

Oricare dintre acești roboți care este folosit pe scară largă în industrie (mii, respectiv zeci de mii de bucăți), cîștigă atributul de industrial.

Evident, în prezent, numai roboții simpli pot fi denumiți roboți industriali.

Atributul de industrial se asociază unei clase de roboți odată cu generalizarea utilizării ei în aplicații industriale. De aceea roboților evoluați cu adaptare la mediul de lucru, care au apărut în număr de sute în industrie, dar nu au încă o utilizare generală, nu li se poate atribui caracterul de industrial [129]. Prognozele efectuate de specialiști, menționează că generalizarea utilizării lor va fi făcută la sfîrșitul acestui deceniu.

Scanned with OKEN Scanner

Ultimii zece ani au impus consacrarea robotului simplu ca un echipament industrial fiabil, capabil să execute cu precizie activități repetitive, în medii de lucru dintre cele mai diferite, timp de trei schimburi, fără să se plictisească, să obosească sau să se enerveze. Integrarea acestora în producție a permis automatizarea flexibilă a unor procese cu caracter discret, caracteristice construcțiilor de mașini, cum ar fi servirea mașinilor-unelte, sudura în puncte sau continuă, cu flacără sau cu arc electric, vopsirea, manipulări și transport, operații de asamblare-montaj etc.

Acești roboți s-au perfecționat ca structură mecanică și de acționare, pot fi comandați în coordonate robot sau coordonate operaționale (v. cap. 3), se programează ușor prin metode directe netextuale, dar lucrează în buclă deschisă față de mediul de lucru (fără reacție de la mediul extern).

„Populația de roboți" la nivelul anului 1982 (excluzînd manipulatoarele și dispozitivele simple de apucat și ridicat „pick and place") se ridică la peste 23 000 exemplare (Japonia — 10 000; S.U.A. — 5 000; R.F.G. — 2 300; Suedia — 1 700; Anglia — 713; Italia — 450; alte țări vestice — 1 500; țările socialiste de ordinul miilor [129].

Încă de la începutul deceniului al nouălea au apărut timid în industrie roboți dotați cu senzori de forță, de proximitate, tactili etc.) folosiți cu precădere în două tipuri de aplicații: sudura cu arc și asamblarea mecanică.

Datele statistice de utilizare a roboților în aceste două categorii de aplicații industriale complexe arată încă o dată caracterul de lider al Japoniei în robotică (sudură cu arc: Japonia — 2000, S.U.A. — 150; asamblare: Japonia — 1 500, S.U.A. — 100).

La mijlocul deceniului nostru apar și se impun și roboții evoluați denumiți în diverse moduri: roboți adaptivi, roboți cu senzori, roboți inteligenți, roboți de generația a doua, de generația a doua și jumătate (v. § 1.1), de generația a treia etc. Clasificarea riguroasă a acestei categorii de roboți în cadrul definițiilor utilizate în prezent, în diferite țări, se complică și mai mult deoarece mijloacele de informare în masă descriu în prezent roboții personali, care se plimbă prin casă deschizîndu-ne ușile (nici chiar scările nu reprezintă pentru ei un obstacol), înțelegînd comenzi vocale și vînzîndu-se sub formă de „kit" (fiecare să-și construiască un robot după dorință!).

În acest context este recomandabil ca analiza stadiului actual și a perspectivelor în robotică să se facă separat pe funcțiile sale principale: acțiune, percepție, comunicare, decizie.

Funcția de acțiune corespunde modificărilor executate de robot asupra mediului prin operații de manipulare (roboți de manipulare) sau prin navigație (roboți mobili).

Scanned with OKEN Scanner

Mai nou, roboții mobili industriali sînt echipați cu camere TV care urmăresc semne de circulație desenate cu vopsea pe planșeu. În acest fel, modificarea traseului industrial poate fi făcută ușor.

Roboții mobili, aflați în stadiul de laborator, își construiesc o hartă a traseului (folosind funcția de percepție) și își planifică o traiectorie optimală (de exemplu: energie consumată minimă), care ocolește obstacolele din teren (folosind funcția de decizie).

Funcția de percepție furnizează robotului informații despre mediul de lucru necunoscut sau în continuă schimbare.

Realizările din acest domeniu se referă la construcția de senzori fiabili, sensibili, de gabarit și cost scăzut, care pot echipa structurile mecanice de manipulare și la dezvoltarea de algoritmi și echipamente speciale de calcul, care permit procesarea în timp real a informației senzoriale.

Senzorii de efort și tactili, ce caracterizează o interacțiune de contact robot-mediu, au depășit stadiul de laborator și echipează mai ales roboții de asamblare. Au fost efectuate experimentări cu senzori tactili integrați (sub formă de piele artificială) folosiți în recunoașterea obiectelor în funcție de amprenta lăsată.

Senzorii de proximitate (optici, cu ultrasunete, electromagnetici etc.) echipează un număr mare de roboți evoluați, permițînd centrarea mîinii robotului pe obiectul manipulat, urmărirea obiectelor în mișcare (manipularea obiectelor pe benzi transportoare), ocolirea obstacolelor etc.

Determinarea distanței relative mînă robot-obiect se realizează cu precizie scăzută și prin metode încă costisitoare în cazul senzorilor de proximitate.

O aplicare largă o au senzorii de proximitate la roboții de sudură cu arc electric sau flacără oxiacetilenică. În aceste cazuri, se realizează centrarea dispozitivului de sudură pe cusături de geometrie tridimensională complexă, menținerea unei lățimi și adîncimi corespunzătoare a cordonului de sudură etc.

Un domeniu foarte dezvoltat în ultimul timp îl constituie vederea artificială a roboților.

Etapele de cercetare a procesului de recunoaștere a unei imagini sînt în general următoarele:

— extragerea caracteristicilor punctuale (preprocesare);

— extragerea caracteristicilor locale și globale (parametri locali și globali);

— identificarea imaginii, respectiv clasificare, învățare, recunoaștere a imaginilor.

Cercetările asupra vederii artificiale s-au dezvoltat din două direcții diferite: automatica industrială și inteligența artificială.

Scanned with OKEN Scanner

În ceea ce privește acțiunile de manipulare se pot menționa realizări în domeniile structurilor mecanice, de acționare și de comandă a mișcării.

Pentru roboții industriali actuali (roboții simpli) structura mecanică de manipulare (incluzînd sistemul de acționare) determină în principal performanțele și prețul.

Ca realizări importante se pot menționa: elemente mecanice eficiente de transmitere a mișcării; organe de execuție cu degete multiple dotate cu senzori tactili; structuri mecanice flexibile sau echipate cu dispozitive de complianță pasivă; manipulatoare de gabarit redus, rapide și cu posibilitatea apucării unor obiecte diverse pentru aplicațiile de asamblare; motoare electrice hidraulice și pneumatice de gabarit redus și putere mare, adaptate pentru structurile mecanice particulare etc.

Sistemele de comandă ale mișcării s-au dezvoltat în două direcții: comanda mișcării libere și comanda mișcării în contact.

Rezultate remarcabile au fost obținute în domeniul comenzii mișcării libere (în coordonate robot sau operaționale, cu controlul vitezei și al accelerației), cercetările actuale axîndu-se pe planificarea automată a traiectoriilor care ocolesc obstacole tridimensionale în mediul de lucru.

Aceste ultime cercetări integrează, la nivelul comenzii mișcării, elemente ale funcțiilor de percepție și decizie.

În prezent, dezvoltări importante au loc în domeniul comenzii mișcării în contact, folosită la aplicațiile de asamblare mecanică (operații de inserare de obiecte cilindrice și necilindrice, așezate în direcții diferite; asamblarea de trei sau mai multe elemente; operații de asamblare cu obiecte fragile sau elastice, evitarea situațiilor de blocaj etc.).

Mișcările în contact se realizează folosind în timp real informația de forță, în sisteme de comandă numite *cu complianță activă*.

Termenul de „complianță" (activă sau pasivă) este folosit la roboți în următorul sens: un sistem este compliant dacă are posibilitatea să-și modifice poziția și orientarea centrului său de acțiune pentru a minimiza rezultanta forțelor și momentelor la care este supus.

O traducere directă, clară și succintă în limba română a termenului tehnic „compliance", în sensul definiției anterioare, nu există.

Al doilea aspect al funcției de acțiune reprezintă navigația robotului în mediul de lucru.

Navigația roboților industriali are loc pe trasee fixe, marcate prin cabluri îngropate în planșeu sau benzi metalice lipite pe podea, care generează cîmpuri electromagnetice de frecvență joasă, folosite pentru ghidaj.

Scanned with OKEN Scanner

Roboții industriali echipați cu una sau mai multe camere TV (CCD sau VIDICON), care realizează coordonarea ochi-mînă (localizarea obiectului — determinarea poziției și a orientării, recunoașterea și manipularea lui), sînt comercializați de mai multe firme producătoare [129].

A fost rezolvată o clasă largă de probleme în vederea artificială cum ar fi: localizarea și identificarea obiectelor; verificarea lor în raport cu un model, în operații de inspecție; comanda mișcării relative mînă robot-obiect de manipulat etc.

Cercetările actuale se axează în continuare pe: reducerea semnalelor parazite din imagini; reducerea informației din imagine la informația utilă; algoritmi eficienți de recunoaștere a formelor; analiza scenelor tridimensionale; recunoașterea obiectelor parțial acoperite etc.

Rezultate importante s-au obținut și se vor obține în viitor în domeniul structurilor de calcul specializate pentru vedere artificială (circuite specializate VLSI, structuri de calcul paralele etc.) și al metodelor software de prelucrare a informației vizuale, care micșorează timpul de răspuns și costul roboților echipați cu vedere artificială.

Funcția de comunicare om-robot s-a dezvoltat pe direcția unor limbaje de programare de nivel înalt (la limită, pentru roboții evoluați cu caracteristici inteligente, în stadiul de laborator — un subset al limbajului natural) și pe perfecționarea metodelor netextuale, introducînd metode de „instruire senzorială".

Dintre limbajele de programare oferite industrial se menționează: AL (Stanford AI Laboratory); AML (IBM Corporation); Help (General Electric Company); Jars (NASA, Jet Propulsion Laboratory); MCL (Mc Donnell Douglas Corporation); Rail (Automatix Inc.); RPL (SRI International); VAL (Unimation — Westinghouse) 129.

Instruirea senzorială se bazează pe realizarea în timp real a unei bucle senzoriale continue (sau cvasicontinue), care permite învățarea traiectoriei sub control senzorial, memorînd și informație senzorială asociată informației de mișcare.

Se mai poate menționa metoda de programare „off-line" a robotului în care, în regim de simulare, sînt descrise prin interfețe grafice interactive mai multe traiectorii admisibile ale robotului. În final se alege o traiectorie care optimizează un anumit criteriu de performanță.

Evident, problematica metodelor și limbajelor de programare a roboților inclusă în funcția de comunicare, precum și cea referitoare la funcțiile de percepție și decizie sînt mult mai complexe decît cele relatate în prezentarea de față.

Funcția de decizie creează capacitatea robotului de a executa sarcini în mod autonom (generarea planului de acțiuni și execuția lui în continuă

Scanned with OKEN Scanner

adaptare cu modificările mediului de lucru). Dotarea robotului cu funcția de decizie este obiectivul cel mai ambițios al roboticienilor.

Previziunile științifice localizează apariția în aplicații industriale a roboților evoluați, cu caracteristici inteligente, la sfîrșitul acestui secol.

Orientarea generală a cercetărilor pe plan mondial este mărirea complexității robotului pentru a simplifica cît mai mult utilizarea lui.

În domeniul arhitecturii sistemului robot, o dezvoltare rapidă o au structurile electronice în comandă și procesarea informației senzoriale.

S-au generalizat structurile de comandă cu microprocesoare de 16 biți (cîte un microprocesor pentru comanda fiecărui grad de libertate, plus un microprocesor de coordonare) și au apărut circuite VLSI specializate folosite în prelucrarea în timp real a informației senzoriale.

Evident, arhitecturile structurilor de comandă a roboților bazate pe microprocesoare (universale sau specializate) sînt foarte variate. Chiar și repartiția funcțiilor de coamndă pe fiecare microprocesor diferă de la un sistem la altul.

O altă direcție nouă în robotică este dezvoltarea sistemelor software pentru proiectarea organizării celulelor de automatizare flexibilă, care includ sisteme de simulare ale roboților și sisteme grafice interactive în trei dimensiuni.

Aceste sisteme de programe răspund cerințelor impuse de stadiul actual de integrare a roboților în sistemele flexibile de producție.

Se apreciază că 60—80% din efortul realizării unei celule de automatizare flexibilă se consumă cu organizarea optimă a celulei, selectarea robotului, construirea unor machete pe care să se simuleze funcționarea celulei, proiectarea diferitelor echipamente periferice pentru robot etc. Restul de efort se consumă pentru programarea roboților, mașinilor unelte și ajustările de finețe. Sistemele de programare care modelează în 3D robotul și celelalte utilaje din celulă și care permit simularea mișcării robotului (ținînd sau nu seama de modelul dinamic) permit o organizare rapidă și optimă a celulei de automatizare flexibilă și o programare „off-line" a robotului.

Dintre sistemele comerciale, funcționale pe plan mondial, menționăm: PLACE (The Positioner Layout and Cell Evaluator — Mc Donnel-Douglas); Calma Robot — SIM (General Electric — Calma Co.); GRASP — (General Robot Arm Simulation Program — Rensseloer Polytechnic Institute), RCODE (SRI — International) 129.

În acest context amintim de principiul „metamorfozei structurale" apărut în legătură cu „fabrica viitorului" complet automatizată și robotizată.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a mări gradul de flexibilitate a celulelor de automatizare flexibilă, roboții și mașinile-unelte se pot construi din module funcționale standard.

În funcție de tipul producției curente, calculatoarele centrale stabilesc configurația optimă a celulei de automatizare flexibilă.

Roboții mobili, cu caracteristici inteligente, reconfigurează fizic celula de automatizare flexibilă, îi asigură întreținerea și depanarea în caz de avarie.

Un impact deosebit asupra gradului de competență a roboților îl vor avea fără îndoială calculatoarele de generația a cincea (în următorii zece, cincisprezece ani).

Odată cu producerea roboților evoluați cu caracteristici inteligente, activitățile lor se vor extinde pe scară largă la procesele de asamblare complexe și inspectare ca și în cele mai diferite domenii ca agricultură, silvicultură, minerit, construcții și servicii sociale etc. Operațiile tehnologice mai importante la care vor putea fi utilizați acești roboți [55, 130] pot fi sintetizate astfel:

— agricultură: pulverizarea chimicalelor agricole, recoltarea fructelor, întreținerea și mulsul animalelor, evacuarea gunoaielor animalelor;

— silvicultură: doborîrea, sortarea, colectarea și transportul copacilor, fertilizarea și plantarea;

— industrie minieră: lucrul în galerii subterane;

— inginerie civilă și construcții: perforarea, exploatarea și lucrări generale la mari înălțimi;

— bunăstare socială: asistență și ghidarea persoanelor nevăzătoare, reabilitarea handicapaților fizici, asistență în muncile grele, pentru infirmerie, combaterea focului, lucrări de salvare și curățenie;

— servicii publice: încărcare/descărcare, drenarea apelor de pe fundul vapoarelor, curățenia ferestrelor clădirilor publice;

— centrale electrice nucleare: întreținerea reactorilor nucleari, evacuarea resturilor radioactive contribuind astfel la creșterea ponderii reactorilor nucleari;

— tehnologii oceanice: exploatarea resurselor din apele adînci, construcții de armare, observații în scopuri multiple.

În figura 11.1 se prezintă introducerea și dezvoltarea roboților în diverse aplicații [130] cu previziuni pînă spre anul 1995.

În ceea ce privește preocupările și cercetările în domeniul roboticii avansate în țara noastră se menționează activitatea susținută depusă în Institutele de învățămînt superior, în Institutele de cercetări din cadrul ministerelor de profil precum și din Institutul Central pentru Conducere și Informatică București. În cadrul acestui institut se evidențiază preocupările legate de dotarea roboților cu vedere artificială (cameră

Scanned with OKEN Scanner

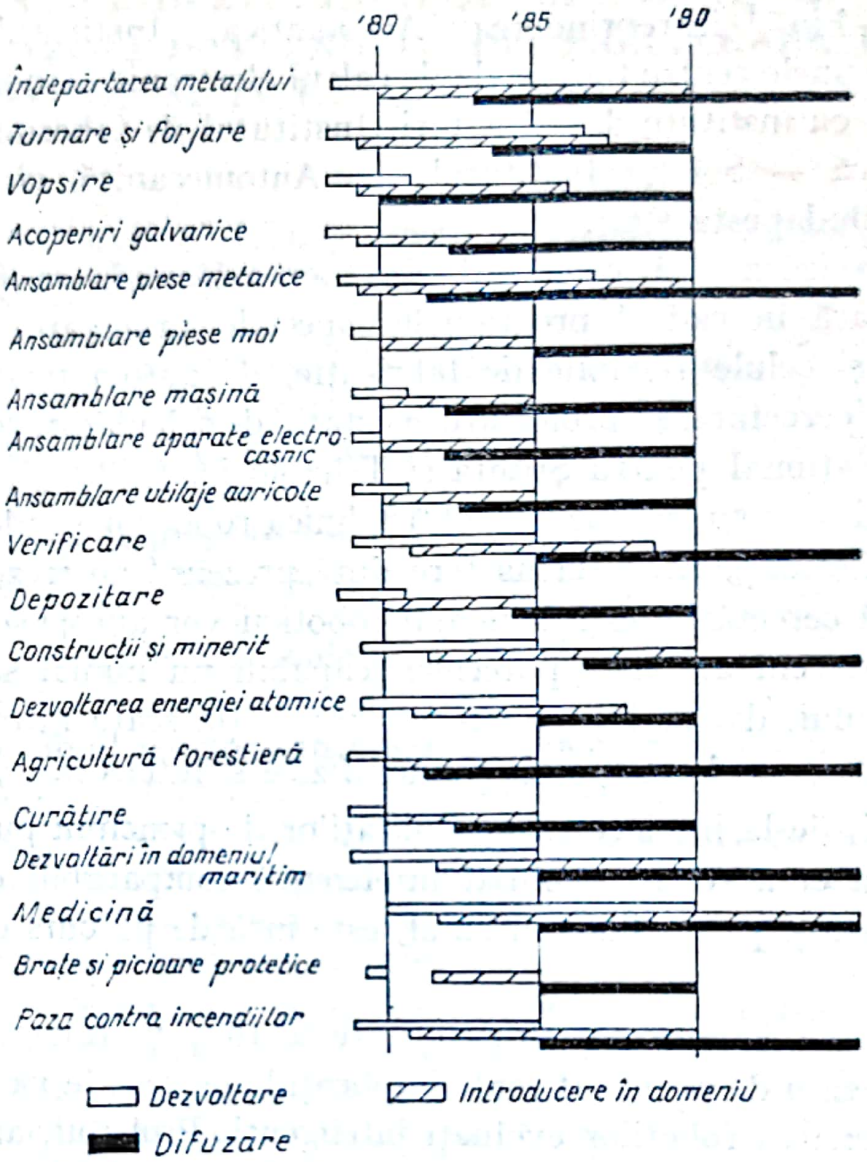


Fig. 11.1. Previziuni privind introducerea și dezvoltarea roboților pînă în anul 1995.

de luat vederi, recunoașterea de forme în timp real etc.), comanda optimală de traiectorie a brațului robotului (generarea de traiectorii), programe pentru comanda roboților cu sisteme multimicroprocesor, planificarea inteligentă a activității roboților, programarea textuală a roboților (proiectarea asistată de calculator a roboților industriali), precum și înțelegerea comenzilor prin voce (colaborare la cercetările efectuate la Institutul Politehnic București, Facultatea de Electronică). I.C.C.I. colaborează în acest domeniu pe plan național cu instituții cum sînt: Institutul de Cercetări Științifice și Inginerie Tehnologică pentru Automatizări și Telecomunicații, Institutul de Cercetări Științifice și Inginerie Tehnologică pentru Mașini-Unelte și

Scanned with OKEN Scanner

Mecanică Fină,' întreprinderea Automatica, Institutul Politehnic București, unele centre teritoriale de calcul electronic (Timișoara, Sibiu), precum și cu institute din alte țări (Institutul de Cibernetică Tehnică și Robotică — Sofia, Institutul de Automecanică și Tehnică de Calcul — Budapesta ș.a.).

Se precizează că cercetările în acest domeniu în țara noastră se desfășoară în cadrul programelor speciale prioritare de realizare de roboți și celule flexibile de fabricație, de automatizare și electronizare, de cercetare și proiectare asistată de calculator, coordonate de Consiliul Național pentru Știință și Tehnologie.

Rapiditatea cu care se dezvoltă tehnica roboților și adevărul incontestabil că orice „viitor" ia naștere din „prezent" ne trezește speranța legitimă că cercetările din domeniul roboticii vor apropia ziua cînd roboții vor deveni auxiliari puternici, capabili nu numai să înlocuiască munca omului, dar să-l și elibereze complet (la scara întregii societăți) de o multitudine de forme ale muncii fizice și intelectuale.

Totuși, de la înțelegerea posibilităților de principiu pînă la deprinderea de a crea roboți evoluați inteligenți, comparabili ca sistem de complexitate și perfecțiune cu omul, este încă de parcurs o cale relativ lungă.

Este greu de anticipat cu exactitate cît timp va fi necesar. Este, de asemenea, greu de prevăzut toate implicațiile pe care le va avea crearea și perfecționarea roboților evoluați inteligenți. Probabil, asemenea realizări nu vor fi de mai mică importanță decît urmările descoperirii energiei nucleare sau inventării calculatoarelor electronice. Un lucru este însă clar, în prezent: nu trebuie să diminuăm nici un efort în direcția avansării și perfecționării în acest domeniu prioritar.

În cartea „Creatorul și robotul", unul dintre întemeietorii cibernetici, N. Wiener scria: „Viitorul promite puține speranțe acelora care așteaptă ca roboții să creeze pentru noi o lume în care vom fi eliberați de necesitatea de a gîndi. Ei ne vor ajuta pe noi, dar cu condiția ca cinstea și rațiunea noastră să satisfacă cerințele celei mai înalte morale. Lumea viitorului va impune o luptă mult mai aspră împotriva caracterului limitat al rațiunii noastre, ea nu ne va permite să stăm tolăniți în lojă așteptînd apariția roboților-robi".

Scanned with OKEN Scanner

11.2. STADIUL DEZVOLTĂRII ȘI IMPLEMENTĂRII SISTEMELOR FLEXIBILE DE PRELUCRARE PE PLAN MONDIAL ȘI ÎN ȚARA NOASTRĂ

Atît în țările capitaliste, cît și în țările socialiste există o preocupare constantă pentru dezvoltarea și implementarea sistemelor flexibile de prelucrare.

Într-o serie de țări (Republica Federală Germania, Japonia, Marea Britanie, Republica Democrată Germană, Uniunea Sovietică etc.) au fost elaborate și aprobate programe naționale de dezvoltare a sistemelor flexibile de fabricație.

Pe baza acestor programe au fost realizate atît sisteme și celule de fabricație, cît și module constituente ale acestora (mașini, comenzi, programe, port-scule, palete, utilaje și roboți pentru înmagazinare, transport și manipulare a sculelor și pieselor).

La începutul anului 1985 se poate estima că pe plan mondial existau, de ordinul sutelor sau chiar a cîtorva mii (în funcție de tipul sistemului), următoarele tipuri de sisteme flexibile:

— *sisteme flexibile de prelucrare automatizate*, care reprezintă complexe de utilaje tehnologice și de echipamente de asigurare a funcționării acestora în regim automat cu posibilitatea de reglare automată pentru prelucrarea unui tip de piesă;

— *sisteme flexibile de prelucrare integrate*, care constau din mai multe utilaje tehnologice reunite pe baza tehnologiei de grup în vederea prelucrării totale sau parțiale a unei familii de piese. Transportul și depozitarea pieselor și sculelor se face mecanizat, iar fluxul de informații referitoare la desfășurarea procesului de producție se face cu ajutorul calculatorului. Acest tip de sisteme permite reutilizarea mașinilor-unelte cu comandă numerică existente în dotare;

— *celule flexibile de prelucrare*, reprezentate de sisteme flexibile de prelucrare compuse dintr-o singură unitate tehnologică dotată cu echipament automatizat de comandă numerică și cu mijloace de automatizare a procesului tehnologic care funcționează autonom (alimentare automată cu scule și piese), realizează cicluri repetate și are posibilitatea de încorporare într-un sistem de nivel mai ridicat (v. § 9.1 și § 9.2).

Conform prognozelor realizate în anii 1983 și 1984 în diferite țări industriale, în perioada 1985—1990, ritmul de realizare și implementare a sistemelor flexibile de prelucrare va crește foarte mult.

Se apreciază că la nivelul anilor 1990—1995, 18—25% din numărul de mașini-unelte așchietoare fabricate vor fi cuprinse în sisteme flexibile

Scanned with OKEN Scanner

de prelucrare, procentele variind de la țară la țară în funcție de stadiul în care se află în prezent fabricarea și implementarea sistemelor flexibile de prelucrare.

Pe baza studierii experienței țărilor industrializate au fost realizate sau sînt în curs de realizare în țara noastră celule și linii flexibile automatizate cum sînt cele de la Întreprinderea de Autoturisme Pitești, Întreprinderea „23 August" București, Întreprinderea „Aversa" etc. De asemenea au fost realizate sau sînt în curs de realizare mașini-unelte cu comandă numerică și sisteme de comandă integrabile în celule și sisteme flexibile.

Activitatea de cercetare-dezvoltare în acest domeniu se desfășoară în prezent pe baza Programului național de sisteme flexibile de prelucrare prin așchiere și deformare la rece a metalelor (1985—1990).

Conform acestui program se prevede realizarea — pe bază de module tipizate — de celule și sisteme flexibile tip în variante complet automatizate și semiautomatizate, la nivelul celor mai bune soluții existente pe plan mondial, cu parametri egali sau mai buni decît ai acestora. Construcția de celule și sisteme flexibile va fi realizată pe baza unui complex de module tipizate intercuplabile, format din mașini, unități de lucru, port-scule, instalații de înmagazinare, transport și manipulare, instalații de control și supraveghere, comenzi, acționări și programe de calculator.

Se prevede că modularizarea va contribui în mod decisiv la extinderea pe scară largă a acestor celule și sisteme flexibile sau a modulelor din care sînt construite. Realizarea de module tipizate va spori gradul de tipizare pînă la 70—80%.

Programul urmărește de asemenea următoarele obiective:

— creșterea însemnată a productivității muncii în toate verigile procesului de fabricație și a producției fizice de fonduri fixe, prin îmbunătățirea atît a indicelui intensiv, cît și a celui extensiv de încărcare;

— îmbunătățirea considerabilă a calității produselor și asigurarea stabilității acesteia pe întreaga perioadă de fabricație;

— scurtarea ciclului de fabricație și adaptarea rapidă a producției la modificarea cerințelor pieții internaționale și ale utilizatorilor interni;

— utilizarea la un nivel superior a potențialului uman, tehnic și productiv din activitățile de cercetare științifică și inginerie tehnologică din industrie, cît și din învățămîntul superior;

— reducerea sensibilă a efortului de investiții în cazul schimbării modelului produselor.

Tendința generală este asigurarea realizării producției de serie mică și mijlocie în condiții similare de costuri și timpi de execuție cu producția de serie mare (v. § 6.3, cap. 9), care să genereze o bază tehnică superioară

Scanned with OKEN Scanner

și unitară pentru modernizarea dotării unităților industriale și o mai bună organizare și conducere a producției;

— realizarea unor importante economii de metal și creșterea gradului de valorificare a tonei de metal prin încorporarea acestuia în sisteme și module flexibile de 2—5 ori;

— reducerea puterii instalate și implicit diminuarea consumului specific de energie cu 20—65%;

— creșterea randamentului utilajelor de aproximativ 2,2 ori datorită automatizării procesului de prelucrare;

— scurtarea timpului de fabricație ca urmare a optimizării tehnologiilor de prelucrare și a suprapunerii timpilor de pregătire cu cei de bază.

Se subliniază faptul că termenul de recuperare a cheltuielilor de asimilare în fabricație a celulelor și sistemelor flexibile din beneficiul la producția suplimentară obținută este sub 2 ani.

Evident, realizarea unui astfel de program presupune mobilizarea tuturor ramurilor de vîrf ale industriei, stimulînd dezvoltarea producției acestora și promovarea fermă a progresului tehnic, precum și cooperare internațională prin activități bilaterale și multilterale.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. ALBU, A. ș.a., *Programarea asistată de calculator a mașinilor-unelte*, Ed. Tehnică București, 1980.
2. BALTAG, V., *Miniaturizarea și robotizarea, caracteristici ale producției moderne*, Revista Economică nr. 52/1979.
3. BAȘTUREA, GH., DODON, E, ș.a., *Comanda numerică a mașinilor-unelte*, Ed. Tehnică, București, 1976.
4. BĂLĂCEANU, C., NICOLAU, Ed., *Personalitatea umană — o interpretare cibernetică*, Ed. Junimea, Iași, 1972.
5. BĂRBULESCU, C., *Organizarea și planificarea unităților industriale*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1980.
6. BÎRLEA, ȘT., *Unele considerații asupra entropiei și sistemele cibernetice. Cibernetica și progresul societății*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1980.
7. BELIȘ, M., *Bioingineria sistemelor adaptive instruibile*, Ed. Științifică și Enciclopedică, 1981.
8. BELJANIN, P. N., *Roboți industriali*, Mașinostroenie, Moskva, 1975.
9. BEJCZY, A.K., *Robot Arm Dynamic and Control*, JET Propulsion Laboratory NASA, Technical Memorandum 33—669, 1974.
10. BOTEZ, E., *Mașini-unelte — bazele teoretice ale proiectării*, Ed. Tehnică, București, 1972.
11. BUCUR, H., *Tipizarea în construcția de mașini*, Ed. Tehnică, București, 1980.
12. BUZDUGAN, GH., *Măsurarea vibrațiilor mecanice*, Ed. Tehnică, București, 1971.
13. CALBOREANU, I., *Principiile de bază ale specializării*, Comunicare științifică Academia de Studii Edonomice, București, 1983.
14. CĂMĂȘOIU, I., *Investițiile și factorul timp*, Ed. Politică, București, 1981,
15. CĂLIN, S. ș.a., *Optimizări în automatizări industriale*, Ed. Tehnică, București, 1979.
16. CĂLIN, S., ș.a. *Automatizări electronice*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1983.
17. CEAUȘESCU, NICU, POPESCU, I., *Tehnologii neconvenționale*, Ed. Scrisul Românesc, Craiova, 1982.

Scanned with OKEN Scanner

18. CHIRIȚĂ, V., DRĂGAN I., MARIN, AL., VASILIU, A., *Matrițarea la cald a metalelor și aliajelor*, Ed. Tehnică, București, 1979.
19. CÎRDEI, V. ș.a., *Aplicație cu robot industrial la forjarea pe ciocan matrițor*, Construcția de mașini nr. 10/1982.
20. CÎRDEI, V., ANGELESCU, C., *Aplicații cu roboți industriali la turnarea sub presiune*, Construcția de mașini nr. 10/1982.
21. CONJINEȚCHI, N. ș.a., *Considerații privind implementarea roboților industriali în producție*, Al 2-a simpozion național de roboți industriali, București, 28—30 octombrie 1982.
22. CRIȘAN, I., *Sisteme de fabricație flexibile în construcția de mașini*, Construcția de mașini nr. 8/1983
23. CRIȘAN, I., *Conceptul de flexibilitate în tehnologia contemporană. Revoluția industrială în industria societății*, Ed. Politică, București, 1981.
24. CRIȘAN, I. ș.a., *Prognoza în industria construcțiilor de mașini. Economia mondială: Orizont 2000*, Ed. Acad. R.S.R., București, 1981.
25. CRIȘAN, I., *Tehnologia ca sistem*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1981.
26. CRIȘAN, I., DOBRE, N., *Automatizarea montajului în construcția de mașini*, Ed. Tehnică, București, 1979.
27. DAVIDOVICIU, A., DRĂGĂNOIU, GH., MOANGĂ, A., *Modelarea, simularea și comanda manipulatoarelor și roboților industriali*, Ed. Tehnică, București, 1985.
28. DAVIDOVICIU, A., MOANGĂ, A., DRĂGĂNOIU, GH., *An Automatic Modelling System used in CAD of IR*, Proc. 9th IFAC Congress, Budapest, 1984.
29. DAVIDOVICIU, A., MOANGĂ, A., TUFIȘ, I., DRĂGĂNOIU, GH., *Automatic Modelling of Industrial Robots*, Technical Report TR-03-83, Institutul de cercetări în informatică.
30. DAVIDOVICIU, A., DRĂGĂNOIU, GH., MOANGĂ, A., *Computer aided Design of the Industrial Robots, using Minimal Groups*, Proc. Congres AFCET Automatique, Besançon, 1983.
31. DAVIDOVICIU, A., MOANGĂ, A., *Structură de comandă adaptivă, cu posibilități de conturare pentru roboți industriali*, Buletinul Român de Informatică, 1983.
32. DAVIDOVICIU, A., *Automatizarea flexibilă și roboți industriali*, Ed. Politică, București, 1980.
33. DRĂGĂNOIU, GH., DAVIDOVICIU, A., MOANGĂ, A., TUFIȘ, I., *Computer Method for Setting Dynamical Model of an Industrial Robot with Closed Kinematic Chains*, Proc. 12 th ISIR, Paris, 1982.
34. DRĂGĂNOIU, GH., DAVIDOVICIU, A., MOANGĂ, A., *A New Approach for the Topological Analysis of the Mechanical Structures of IR*, 3 rd Yugoslav Symp. on Applied Robotics, Urnjacka Banja, 1983.
35. DRĂGĂNOIU, GH., MOANGĂ, A., DAVIDOVICIU, A., *Metodă de determinare a accelerațiilor generalizate în funcție de parametrii cinematici ai mișcării comandate*, Ed. Acad. R.S.R., București, 1983.
36. DRĂGĂNESCU, M., *Dezvoltarea socială în perspectiva revoluției informatice*, Era Socialistă, nr. 20/1982.
37. DRĂGĂNESCU, M., *Sistem și civilizație*, Ed. Politică, București, 1976.
38. DRĂGĂNESCU, M. ș.a., *Precursori români ai ciberneticii*, Ed. Acad. R.S.R., 1979.
39. DRĂGĂNESCU, M., *Informatica între practică și fenomen*, Ed. Politică, București, 1980.
40. DRĂGĂNESCU, M., *A doua revoluție industrială*, Ed. Tehnică, București, 1980.
41. FILLION, A., *L'impact de la microélectronique*, Enjeux, nr. 14, mai 1981.
42. FLORESCU M., NICULESCU-MIZIL, E. ș.a., *Cibernetica, automatica, informatica în industria chimică*, Ed. Tehnică, București, 1979.
43. FLETCHER, H.S., RONGVED, L., YU, E.Y., *Dinamics Analysis of Two Body Gravitationally Orientted Satellite*, The Bell System Technical Journal, Sept. 1963

Scanned with OKEN Scanner

44. FLOREA, S., MOANGĂ, A., *Introducere în conducerea roboților*, Institutul Politehnic din București, Facultatea de Automatică, 1982.
45. FLOREA, S., MOANGĂ A., *Sisteme de conducere a roboților*, Institutul Politehnic din București, Facultatea de Automatică, 1983.
46. FLOREA, S., MOANGĂ, A., *Procedură pentru implementarea unui sistem de programare și comandă a roboților*, 5th Int. Conf. on Control System and Computer Science, Bucharest, 1983.
47. FONTAINE, I., *Roboți industriali*, Franța, 1983, p. 99—103.
48. GAVRILAȘ, I. VOICU, N., *Tehnologia pieselor tip arbore, bucșă și disc pe mașini-unelte clasice și cu comandă program*, Ed. Tehnică, București, 1975.
49. HOOKER, W.W., MARQUILES, G., *The Dynamical Attitude Equations for an Body Satellits*, The Journal of the Astronautical Sciences, no. 4, 1965.
50. IONIȚĂ, N., *Considerații privind criteriile de clasificare a roboților industriali*, Culegere comunicări științifice, Acad. de Studii Economice, 1982.
51. IONIȚĂ, N., *Noi realizări în domeniul roboticii industriale*, Sesiune științifică, decembrie 1982, Academia de Studii Economice.
52. IONIȚĂ, N., *Flexibilitatea și progresul tehnologic în construcția de mașini*, Sesiune științifică, 1982, ASE.
53. IONIȚĂ, N., *Informatica și comanda prin program a mașinilor-unelte*, Sesiune științifică 3—4.—XII. 1982, ASE.
54. IONIȚĂ, N., *Cercetări privind eficiența economică a robotizării proceselor de producție industrială*. Culegere de comunicări științifice, Academia de Studii Economice, București, 1982.
55. IONIȚĂ, N., *Roboții industriali și cibernetizarea proceselor industriale*, Comunicare științifică la Casa corpului didactic București, decembrie, 1979.
56. IONIȚĂ, N., *Considerații privind arhitectura generală și structura antropomorfă a roboților industriali*, Culegere de Comunicări științifice, Academia de Studii Economice, București, 1982.
57. IONIȚĂ, N., DRAGNEF, D., BĂDESCU C., CUCLEA, N. ș.a., *Caracterizarea plasticității oțelului cu 3% Si*, Contract de cercetare științifică, 1984.
58. SERVAN-SCHREIBER, J.-J., *Sfidarea mondială* (trad. din limba franceză), Ed. Politică, București, 1982.
59. KAHN, M.E., *The Near Minimum Time Control of open Loop Articulated, Kinemetic Chains*, Stanford Univ., 1970.
60. KLABDIEV, M., *Mijloace de locomoție ale roboților*, Nauka i jizni (în lb. rusă), nr. 5, 1981.
61. KOVACS, FR. ș.a., *Considerații cu privire la arhitectura generală a roboților industriali*, Simpozionul național de roboți industriali, București, 1981.
62. KOVACS, FR. ș.a., *Posibilități de realizare pe baza robotului REMT, 1 a două familii modularizate de roboți industriali*, Primul simpozion național de roboți industriali București, 1981.
63. KOVACS, FR., COJOCARU, G., *Manipulatoare, roboți și aplicațiile lor industriale* Ed. Facla, Timișoara, 1972.
64. LEMNIJ, I., *Fenomenul tehnic*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1976.
65. LECHTMAN, H., NOF, S.Y., *Performance time models for robot point operations*, Int. I. Proc. Res., 21, 5, 1983.
66. LIEGEOIS, G., *Analyse de tache et robotique*, RAIRO, nr. 3, 1980.
67. LIKINS, P.W., *Passive and Semi-Active Attitude Stabilizations-Flexible Spacecraft*, AGARD-LS-45-71, Panel 3b, oct. 1971.
68. MAGDA, R., *Subsistemul de comandă*, Știință și tehnică, nr. 617, 1983.
69. MAGDA, R. ș.a., *Instruirea roboților industriali*, Construcția de mașini, nr. 34, 1982.

Scanned with OKEN Scanner

70. MAGDA, R., MOANGĂ, A., *Programarea și comanda roboților industriali românești*, Ed. Acad. R.S.R., București, 1983.
71. MANOLESCU, M.I., *Lanțuri cinematice și „fermele Baranov", o legătură dialectică privită prin operații de grafizare* (G) *și grafizare inversă* (Gi), Primul simpozion național de roboți industriali, București, 1981.
72. MANGERON, D., IRIMICIUC, N., *Mecanica rigidelor cu aplicații în inginerie*, vol. I, II, III, Ed. Tehnică, București, 1978—1981.
73. MĂRGULESCU, D., VĂDUVA, I., ISFĂNSCU, A., FLORESCU, V., ALEXANDRU M., *Analiza economică financiară asistată de calculator*, Ed. Tehnică, București, 1985.
74. MĂNESCU, MANEA, *Cibernetica economică*, Ed. Acad. R.S.R. București, 1979.
75. MILCU, ȘT., STANCOVICI, I. ș.a., *Interdisciplinaritate în știința contemporană*, Ed. Politică, București, 1980.
76. MOANGĂ, A., OPREA, E., NEDELEA, D., UDREA, B., *Advanced Control System for Industrial Robots, Artificial Intelligence and Information Control Systems of Robots*, North Holland, 1984.
77. MOANGĂ, A., OPREA, E., NEDELEA, D., BAUBEC, S., *The use of a minicomputer in the Design and Implementation of Control Systems for Industrial Robots*, IFAC. MIMI, Bari, 1984.
78. MOANGĂ, A., MÂNDUTIANU, D., OPREA, E., NEDELEA, D., UDREA, B., *Advanced Control and Programming System for Industrial Robots*, Proc. 14 th ISIR, Gothenburg, 1984.
79. MOANGĂ, A., NEDELEA, D., *Generarea traiectoriilor de mișcare a roboților industriali pe minicalculator*, Buletinul Român de Informatică, nr. 3, 1983.
80. MOANGĂ, A., DRĂGĂNOIU, GH., TUFIȘ, I., *Folosirea calculului simbolic în determinarea automată a modelului dinamic pentru structuri mecanice antropomorfice*, Ed. Acad. R.S.R., București, 1983.
81. MORARU, V. ș.a., *Centre de prelucrare*, Ed. Tehnică, București, 1980.
82. NICULESCU-MIZIL, E., *Cibernetica*, Ed. Acad. R.S.R., București, 1973.
83. NANU, A., *Tehnologia materialelor*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1972.
84. NICOLAU, Ed., *Analogie, modelare, simulare cibernetică*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1977.
85. NICOLESCU, O., *Economia și conducerea întreprinderii industriale*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1980.
86. NOF S.Y., *A method for advanced planning of assembly by robots*, Proc. Autofact., California (S.U.A.), 1980.
87. NOF S.Y., *Computer aided planning of robotic aseembly*, Proc. Autofact, Geneva, 1983.
88. ODOBLEJA, ȘT., *Psihologia consonantistă și cibernetica*, Ed. Scrisul Românesc, Craiova, 1978.
89. ODOBLEJA, ȘT., *Psihologia consonantistă*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1982.
90. OLARIU, V., SIMA, P., ACHIRILOAIE, V., *Mecanica tehnică*, Ed. Tehnică, București, 1982.
91. ORĂNESCU, A., BUMBARU, S., *Proiectarea roboților industriali cu ajutorul ecuațiilor de stare în cazul acționării prin motoare electrice clasice*, Simpozionul național de roboți, București, 1981.
92. PAUL, R., *Advanced industrial robot control system*, Technical Report TR—EE 80—30, Purdue University, 1980.
93. PELECUDI, C. ș.a. *Structura modulară a roboților industriali*, Al III-lea simpozion de mecanisme și transmisii mecanice, Timișoara, 1980.
94. PELECUDI, C. ș.a., *Subansamblele mecanismelor robot. Reprezentare modulară*, Simpozionul național de roboți industriali, București, 1981.

Scanned with OKEN Scanner

95. PELECUDI, C. ș.a., *Studiul unui mecanism robot conceput modular*, Al 2-lea simpozion național de roboți industriali, București, oct. 1982.
96. PELECUDI, C., *Teoria mecanismelor spațiale*, Ed. Acad. R.S.R., București, 1972.
97. PICOȘ, C., *Tehnologia construcțiilor de mașini*, Ed. Didactică și Pedagogică, 1974.
98. PESCARU, V. ș.a., *Aplicații ale ciberneticii în economie și în industria chimică*, Ed. Acad. R.S.R, București, 1973.
99. POPA, H. ș.a., *Determinarea eficienței economice a producției și utilizării roboților industriali*, Al 2-lea simpozion național de roboți industriali, București, oct. 1982.
100. PREDA, GH., *Organizarea și planificarea unităților industriale*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1980.
101. PUMNEA, C., IONIȚĂ, N., ȘONTEA, S., *Tehnologii din industria metalurgică și prelucrătoare*, Ed. Didactică și Pedagogică, 1979.
102. RANCU, N., TÖVISSI, L. *Statistică matematică cu aplicații în producție*, Ed. Acad. R.S.R. București, 1963.
103. RENAUD, M., *Energie cinétique d'un bras mecanique articule*, Note interne, LAAS-SMA 74.
104. ROMAN, V., *Procese revoluționare în știință și tehnică și strategia dezvoltării României socialiste*, Ed. Politică, București, 1980.
105. ROMAN, V., *Echilibru și dezechilibru*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1978.
106. ROBERSON, R.E., WITTENBURG, J., *A Dynamical Formalism for an Arbitrary Number of Interconnected Rigid Bodies, with Reference to the Problem of Satellite Attitude Control*, 3rd IFAC-Congress, S.U.A., 1966.
107. SANDU, A. ș.a., *Manipulatoare și roboți industriali cu comandă numerică*, Construcția de mașini, 34, 10, 1982.
108. SAVI, G., COJOCARU, G., *Flexibilitatea în fabricația de mașini*, Ed. Facla, Timișoara, 1977.
109. SCHIMANE, B., ROTH B., *Ranges of motion of manipulators*, IFTOMM Symposium, Warsaw, sept. 1976.
110. SCHIELE, G., *Industrieroboter werden erwachsen*, VDI, Nechrichten, 33, 1979.
111. STEPANENKO, Yu., *Method of Analysis of Spatial Levev Mechanisms*, Mekanika mashin, vol. 23, Moscow, 1970.
112. SOCOLESCU, M., OLARIU, C., *Economia și organizarea construcțiilor*, Ed. Didactică și Pedagogică, 1978,
113. TOPAL, D., *Aspecte privind montajul automatizat flexibil*, Construcția de mașini nr. 8, 1983.
114. TOPAL, D., *Sisteme de alimentare cu piese în procesul de montaj*, Construcția de mașini, 8, 1983.
115. TUTUNARU, M., *Mecanisme cu came*, Ed. Tehnică, București, 1969.
116. TOPAL, D., *Sisteme modulare de mașini pentru montaj*, Construcția de mașini, nr. 8, 1983.
117. VÂLCOVICI, V., BĂLAN, Șt., VOINEA, R., *Mecanica teoretică*, Ed. Tehnică, București, 1968.
118. VOINEA, R., VOICULESCU, D., *Mecanica*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1985.
119. VICKER, J.J., *Dynamic Behaviour of Spatial Linkage*, Trans. of. the ASME, no. 68, 1969.
120. VUKOBRATOVIČ, M., POTKONJOK, V., *Dynamics of Manipulation Robots*, Springer-Verlag, Berlin, 1982.
121. VUKOBRATOVIČ, M., STOKIC, D., *Control of Manipulation Robots*, Springer-Verlag, Berlin, 1982.

Scanned with OKEN Scanner

122. WITTENBURG, J., *Automatic Construction of Non-Linear Equations of Motion for Systems with Many Degrees of Freedom*, Euromach 38, Belgium, 1973.
123. ZABOLA, J., *Automatic Computer Construction of Equations of Motion Articulated Mechanism*, Proc. First Yugoslav Symp. on Industrial Robots, Beograd, Iugoslavia, 1977.
124. ZUBAC, V., *Utilaje pentru turnătorie*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.
125. * * * *Sisteme flexibile de fabricație*, IDCM, 1979.
126. * * * *Studiu de dezvoltare a științei, tehnologiei și progresului tehnic privind mașini-unelte și sisteme de mașini pentru prelucrarea metalelor prin așchiere pentru perioada 1986—2000(2020)*, ICSIT-Titan.
127. * * * *Productivitatea utilajelor automate*, Die Technik, nr. 4, (R.D.G.) 1979.
128. * * * *Industrieroboter-Afbau*, Wirkungswerse und Anwrivendung Maschinenbautechnik (R.D.G.) nr. 12, 1978.
129. MOANGĂ, A, *Stadiul actual și perspective în domeniul roboticii*, Buletinul Român de Informatică, nr. 2, 1985.
130. * * * *Roboți japonezi*, AMC, vol. 43, Ed. Tehnică, București, 1984.

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINS

Prefață 3
Cuvint înainte 5
A. **Elemente de mecanica automatelor** 9
Capitolul 1
Clasificarea roboților industriali 9
1.1. Clasificarea roboților 9
1.2. Elemente privind arhitectura generală și structura antropomorfă a roboților 14

Capitolul 2
Structura generală a robotului industrial condus de calculator 32
2.1. Sistemul cinematic 33
2.2. Sistemul de acționare 48
2.3. Sistemul de comandă și programare 50
2.4. Sistemul senzorial al roboților 52
2.5. Elemente privind structura modulară a roboților industriali 53

Capitolul 3
Analiza cinematică și dinamică a structurilor mecanice de manipulare automată .. 66
3.1. Considerații generale asupra structurilor mecanice de manipulare automată 67
3.2. Modelarea asistată de calculator a mecanismelor spațiale active 70
3.3. Metode de modelare bazate pe formalismul Newton-Euler 72
3.4. Metode de modelare bazate pe formalismul Lagrange 82
3.5. Modelarea structurilor mecanice elastice 95
3.6. Simularea dinamicii structurilor mecanice de manipulare automată 98
3.7. Concluzii 112

Capitolul 4
Realizarea mișcărilor complexe la mecanismele spațiale active 113
4.1. Sinteza comenzii programate 117

Scanned with OKEN Scanner

4.2. Sinteza comenzii care asigură urmărirea traiectoriei nominale 120
4.3. Sinteza sistemelor de comandă cu timp discret 125
4.4. Programarea mișcării mecanismelor spațiale active 129
4.5. Echiparea cu senzori a mecanismelor spațiale active 132
4.6. Sisteme de programe pentru comanda și programarea mișcării structurilor mecanice de manipulare automată 139
4.7. Comportamentul inteligent al structurilor mecanice de manipulare automată 141
4.8. Comanda roboților în aplicații de asamblare mecanică 143
4.9. Concluzii 150

Capitolul 5

Eficiența economică a robotizării proceselor de producție industrială 151
5.1. Evaluarea utilizării roboților industriali pe bază de calcul economic 151
5.2. Impactul economic, social și tehnic al introducerii roboților 162
5.3. Concluzii 166

B. Elemente privind dinamica automatizării industriale și a creșterii performanțelor de flexibilitate și de progres tehnologic 167

Capitolul 6

Flexibilitatea și progresul tehnologic 167
6.1. Productivitatea, o cerință fundamentală a producției industriale 167
6.2 Studiul capacității de prelucrare a sistemelor tehnice automate 172
6.3. Diversificarea, o trăsătură caracteristică a producției contemporane 180
6.4. Căi de evaluare a flexibilității tehnico-organizatorice a sistemelor cibernetico-industriale 185
6.5. Raționalizarea seriilor de fabricație în construcția de mașini 190

Capitolul 7

Automatizarea mașinilor-unelte pentru producția de serie mare și de masă 209
7.1. Sisteme de automatizare rigide temporale 212
7.2. Sisteme de automatizare rigide secvențiale 220
7.3. Sisteme de automatizare mixte, temporale și secvențiale 222
7.4. Sisteme de mașini-unelte destinate producției de serie mare și de masă 224

Capitolul 8

Evoluția sistemelor de automatizare pentru producția de serie mică și mijlocie 228
8.1. Sisteme de automatizare cu comandă numerică convențională 229
8.2. Centre de prelucrare 236
8.3. Informatizarea și automatizarea proceselor industriale 248
8.4. Stadiul actual și direcțiile prioritare ale creșterii gradului de automatizare a mașinilor-unelte în țara noastră 275

Capitolul 9

Utilizarea sistemelor flexibile de fabricație 279
9.1. Concepția sistemică de organizare a sistemelor flexibile ale fabricației .. 279
9.2. Structura sistemelor flexibile de fabricație 287
9.3. Analiza operațiilor industriale efectuate de roboți în celule de automatizare flexibilă 301
9.4. Sisteme flexibile de fabricație pentru piese de revoluție 318
9.5. Sisteme flexibile de fabricație pentru piese prismatice 334
9.6. Sisteme flexibile de fabricație folosite pentru operații de asamblare și montaj 348

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 10

Robotizarea și cibernetizarea sectoarelor calde din industria constructoare de mașini 368
10.1. Robotizarea și cibernetizarea turnătoriilor de metal 372
10.2. Robotizarea și cibernetizarea secțiilor de forje 383
10.3. Elemente privind mecanizarea, automatizarea, robotizarea și cibernetizarea cuptoarelor de încălzire și tratamente termice 401
10.4. Programul de măsuri cu privire la mecanizarea și automatizarea proceselor tehnologice și a liniilor de fabricație în sectoarele calde din construcția de mașini în țara noastră 403

Capitolul 11

Stadiul actual și perspective în cercetarea științifică în domeniul roboților industriali și sistemelor flexibile de fabricație 407
11.1. Roboți industriali 407
11.2. Stadiul dezvoltării și implementării sistemelor flexibile de prelucrare pe plan mondial și în țara noastră 417
Bibliografie 420

Scanned with OKEN Scanner